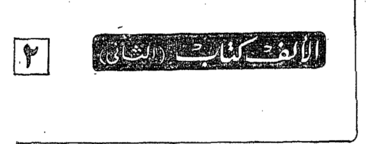
الألف كتاب (الثانى) ٢

الألكترونيات والحياة الحديثة

تأليف: ى . رادونسكايا
و م . جابوتنسكى
ترجمة: المهندس حسين أحمد عيسى





الإلكترونيات والحياة الحديثة



الإلكترونيات والحياة الحديثة

تأليف

ى . رادونسكايا م. جابوتنسكى

ترجمة

حسين أحمد عيسى



الهيئة المصرية العامة للكتاب

١٩٨٦

الاخراج الفنى : ماجدة البنا

مقدمة

يعتبر اللاسلكى ، من أحدث ميادين العلم ، ومع ذلك لم يتطور ذلك العلم فى تلك المدة القصير التى انقضت منذ اكتشف العالم الروسى الكسندر ستيبانوفتش بوبوف اللاسلكى حتى الآن فحسب بل أصبح أحد الميادين الكبرى للعلم والهندسة وأصبح كذلك الأصل الذى تفرعت منه تلك الفروع الهامة مثل التحليل الطيفى اللاسلكى والجيوديسيا (المساحة التطبيقية) اللاسلكية والميتيورولوجيا (علم الظواهر الجوية) اللاسلكية والفلك اللاسلكى وكذلك الكثير من الميادين الهندسية مثل تحديد المواقع باللاسلكى (الرادار) والملاحة اللاسلكية والقياسات اللاسلكية والتحكم عن بعد ، وكذلك تقنيات الآلات الحاسبة الالكترونية ٠

وبالطبع حدث الكثير من التغيرات فى امكانيات الاتصال اللاسلكى فى نفس تلك الفترة ٠ فاليوم يضمن اللاسلكى اتصالا يعتمد عليه بين أى عدد من النقط على سطح الأرض ، ونحن لا نجد الآن ما يثير الدهشة فى أن عمال اللاسلكى فى المحطات الروسية العلمية السابحة مع التيارات البحرية فى منطقة القطب الشمالى يتصلون بعمال اللاسلكى فى البعثة الموجودة بالقطب الجنوبى عند ميرنى ٠ ويمكن لأجهزة التلغراف الحديثة أن ترسل نصوصا بسرعات تصل الى عدة مئات من الكلمات فى الدقيقة ٠ وقد انتشر استخدام التلغراف اللاسلكى الآلى الكاتب وكذلك التلغراف المصور اللاسلكى الذى يمكن بوساطته نقل الصور الفوتوغرافية والرسوم الميكانيكية والصور الثابتة الأخرى الى مسافات بعيدة ٠

وقد أدت الاتصالات اللاسلكية — أى استخدام الموجات اللاسلكية

فى نقل المعلومات بين محطتين لاسلكيتين أو أكثر – الى اذاعة الكلام ثم الموسيقى ، واليوم يعتبر نقل الصور المتحركة – التليفزيون – أرقى أنواع الارسال اللاسلكى تطورا كما أنه يتحول شيئا فشيئا الى شيء هام فى الحياة اليومية للناس فى كافة أرجاء الدنيا ، ولم تمكن خطوط المتابعة اللاسلكية من نقل برامج التليفزيون الى مسافات بعيدة فحسب بل وفى نفس الوقت أيضا المئات من المحادثات التليفونية ٠

واليوم تغزو تقنيات الهندسة اللاسلكية الفرع تلو الآخر من فروع الصناعة ، وفى كثير من الأحيان تكون فاتحة ثورة هندسية فعلية ، وعلى سبيل المثال نذكر تقسية الصلب بالتيارات الكهربائية ذات التردد العالى ومعالجة المعادن بالتيـــارات الكهربائية ذات التردد العالى واستخدام الأجهزة الالكترونية فى مراقبة جودة المنتجات فى المصانع ، والتحكم الآلى فى الانتاج واستخدام التيارات الكهربائية عالية التردد فى صناعات البلاستيك والكاوتشوك وتجفيف الخزف والطباق وحفظ المأكولات ٠

ويسمى هذا الميدان الواسع من العلم والهندسة – الذى لم يذكر منه سوى جزء صغير فيما تقدم – عادة بالالكترونيات ٠

ومن الطبيعى جدا أن يتطلب بناء الهيــكل الضخم للالكترونيات الحديثة المجهودات المستمرة من الكثير من العلماء والمهندسين ٠ فقد بنى مخترع الراديو الكسندر بوبوف أعماله على أساس ما توصل اليه من سبقوه وبالذات على أعمال العـــالم الطبيعى الانجليزى « كلارك ماكسويل » الذى قدم نظرية المغناطيسية الكهربائية والعالم الطبيعى الألمانى « هرتز » الذى ولد الموجات المغناطيسية الكهربائية ٠ كما قام المهندسون والعلماء أمثال الايطالى « جوليلمو ماركونى » واليوجوسلافى « نيكولا تســلا » والألمـــانى « كارل براون » والعلمـــاء الروس ل ٠ ى ماندلستام و ن ٠ د ٠ بابالكسى و م ٠ ف شوليكين وكثيرون غيرهم بأبحاث فى نفس الاتجاهات التى سار فيها بوبوف وزملاؤه ٠ وقد كان التطور السريع للالكترونيات نتيجة للتعاون والمنافسة بين العلماء فى كثير من البلاد ٠

وقد تميز تقدم العلوم الالكترونية ، كما هو الحال فى معظم فروع العلم والهندسة الباقية ، بمراحل تتراوح بين التقدم البطىء والصعود السريع ٠ وقد كان من أهم الحوادث التاريخية فى تاريخ الالكترونيات اختراع كل من لى دى فورست فى الولايات المتحدة وروبرت فون ليبن فى ألمانيا للصمام الثلاثى فى وقت واحد تقريبا وكان ذلك عام ١٩٠٦ ٠

وقد شق الصمام الالكتروني ــ الذى استخدم أولا فى أجهزة الاستقبال اللاسلكية ــ طريقه تدريجيا فى أجهزة الارسال اللاسلكية قاضيا بذلك تماما على دوائر الشرارة والقوس الكهربائى التى كانت مستخدمة قبل ذلك فى توليد الموجات اللاسلكية ·

ومن الطريف حقا أن نلاحظ أن التجارب الأولى لبوبوف وكذلك تلك التى قام بهــا هيرتز كانت على موجــات مغناطيسية كهربائية ذات اطوال تبلغ عدة دسيمترات · وبعد ذلك قادت الرغبة فى زيادة مدى الاتصالات اللاسلكية والعول عليها الى استخدام موجات أطول وصلت الى عدة كيلو مترات ، ومع ذلك اكتشف هواة اللاســـلكى فى أوائل العشرينات انه يمكن استخدام الموجات التى تصل الى عدة عشرات من الأمتار طولا فى الارســال الى مســـافات عظيمة ــ ونتيجة لهذا انتشر بالتدريج استخدام الموجات الأقصر طولا · والآن تســـتخدم الموجات السنتيمترية والملليمترية فى الرادار والاتصــالات والأبحاث العلمية · وجدير بالذكر أيضا انه بالرغم من أن العالم الروسى المعروف ب · ن · ليبيديف كان قد توصل الى توليد الموجات المغناطيســـية الكهربائية الملليمترية فى نهــاية القرن المــاضى ، كما تمكنت أ · أ جلاجوليفا ــ اركاديبيفا من الحصول على موجات أقصر فى ١٩٢٣ ثم بوساطتها ربط نطاق الموجات اللاسلكية بنطاق الموجات تحت الحمراء (الحرارية) ، فانه لم يمكن استخدام الموجات السنتيمترية والملليمترية استخداما عمليا الا بعد التوصل الى صنع أنواع خاصة من الصمامات الالكترونية ·

وقبل ثورة أكتوبر ، كانت ظروف البحث العلمى فى ميدان اللاسلكى فى روسيا سيئة للغاية ، فحتى الكسندر بوبوف مخترع الراديو والعدد القليل من المساعدين الذين كانوا يعملون معه لم تكن لديهم التسهيلات اللازمة للقيام بعملهم ، ونتيجة لهذا لم يزود الأسطول الروسى بالمعدات اللاسلكية اللازمة أثناء الحرب الروسية اليابانية ·

وبالرغم من هذه الظروف غير المواتية ، ظهر فى روسيا عدد لا بأس به من المتخصصين البارعين الذين ســـاروا فى طريق بوبوف وارتقوا بأعماله · وكان ضمن هؤلاء بونش ــ برويفتش وفولوجدين وليبدنسكى وماندلستام وبابالكسى وبتروفسكى وفرايمان وتسيكلنسى وشوليكين · وفى بداية الحرب العالمية الأولى ، أسس مركز للأبحاث والانتاج فى روســـيا · وقد عمل هذا المركز ــ أساسا ــ لامداد البحرية بالمعدات اللاســـلكية · وفى أثناء الحــرب نظــم م · أ بوش ــ برويفتش انتــاج صمامات الراديو ، وفى نفس الوقت كانت هنـــاك صناعة للصمامات

الالكترونية يشرف عليها ن · د · بابالكسى الذى كان أول من استخدم التسخين بالتردد العالى لافراغ الصمامات من الغازات ، ثم بعد ذلك بين ن · د · بابالكس امكان استخدام التيارات ذات التردد العالى فى اذابة المعادن فى الفراغ ·

ومع ذلك لم تبدأ الهندسة اللاسلكية فى الازدهار بالفعل الا بعد الثورة ·

فمنذ الأيام الأولى لثورة أكتوبر ، وجه الحزب الشيوعى الكثير من الاهتمام لتطوير اللاسلكى واستخدامه · وقد أذيعت المراسيم الأولى للحكومة السوفيتية على العالم بأسره بالتلغراف اللاسلكى ·

وقد وضع ف · أ · ليفين أهمية كبرى على دور الراديو فى تعليم الجماهير · ففى ٢١ يوليو سنة ١٩١٨ ، وقع مرسوما « حول مركزية الهندسة اللاسلكية » الذى خول لمجلس — تشرف عليه قوميسيرية المواصلات البريدية والتلغرافية الشعبية — سلطة وضع خطة لبناء وتشغيل شبكة من المحطات اللاسلكية الدائمة والاشراف على تنفيذها · وفى ١٢ ديسمبر عام ١٩١٨ ، وقع ف · أ · لينين مرسوما بتأسيس معمل للراديو فى نيزنى نوفجورود وكان ضمن العلماء البارزين المكلفين بالعمل فيه م · أ · بونش — برويفتش و ف · ب · فولوجدين ى ف · ك ليبيدنسكى و د · أ · روجانسكى و أ · ف · شورين وآخرون · وقد قام معمل نيزنى نوفجورود بدور هام فى تطوير هندسة اللاسلكى وذلك بما قام به فى ميدان الصمامات الالكترونية والاذاعة والاتصالات بعيدة المدى ·

وقد رأى ف · أ · لينين بوضوح الامكانيات الجبارة لهذا الوسط الجديد — الاذاعة — ولهذا عضد معمل نيزنى نوفجورود للالكترونيات تعضيدا كبيرا ·

وعندما تم تصنيع أول جهاز ارسال للتليفون اللاسلكى فى سنة ١٩٢٠ ، كتب لينين لبونش — برويفتش :

« · · · أنتهز هذه الفرصة لأعبر لكم عن عميق امتنانى لعملكم الهام فى الاختراعات اللاسلكية · ولا شك أن المستقبل زاهر أمام هذه الصحيفة التى بدون ورق ولا تحدها مسافات والتى تقومون بتطويرها وأعدكم بتأييدى الكامل لها وللأعمال المشابهة » ·

وبعد ذلك كرر لينين تأكيده بأن « هذا العمل على جانب كبير من الأهميـــة لنا حيث ان نجاحه ســيؤدي الى فائدة كبرى فى ميدان تعليم الجماهير » .

وبتعليمات من لينين ، صمم معمـــل نيزنى نوفجورود أول محطة أرسال اذاعية لاسلكية قوية فى العالم وسماها كومينترن وقام بتشغيلها عام ١٩٢٢ فى موسكو . وكانت قدرة هذه المحطة اثنى عشر كيلو وات .

وقد تحقق حلم لينين عن الصحيفة التى « بلا ورق ولا تحدها مسافات » منذ زمن طويل فى الاتحاد السوفيتى . فقد أصبحت موسكو أكبر مركز للاذاعة السوفيتية . وتحمل محطات الارسال اللاسلكية القوية صوت بلاد السوفيت المحب للسلام الى كافة أركان المعمورة وتسمعه كل البلاد . كذلك تلعب الاذاعة السوفيتية دورا هاما فى الصراع من أجل السلم . وتساعد البيانات الصحيحة المذاعة من المحطات السوفيتية على تقريب الشعوب من بعضـــها البعض وزيادة تفهمهم بعضهم لبعض ، كما تساعد على التقارب بين قوى السلام .

وتذيع محطات موسكو بانتظام برامج من مدن كبرى أخرى وكذلك من أماكن المنشآت المختلفة ومن المزارع الجماعية ومزارع الدولة ، وكذلك تعيد اذاعة بعض البرامج الخاصة من بكين وعواصم البلاد الديموقراطية الشعبية فى أوربا على المستمعين السوفيت .

حقا ان القيمة الثقافية والتعليمية للاذاعة عالية لدرجة كبيرة ، فان الحفلات الموسيقية المذاعة وكذلك الاذاعات من دور الأوبرا والمســارح والأحاديث والمحاضرات المختلفة تجتذب الملايين من المستمعين ، ولن ينقضى وقت طويل حتى يتمكن الملايين من الناس فى كافة أرجاء البلاد من الاستماع الى البرامج المذاعة من موسكو ولينينجراد وكييف وباقى مدن الاتحاد السوفيتى بل ويرونها أيضا .

وبالطبع لم تتحقق المنجزات العظيمة للهندسة اللاسلكية السوفيتية، الا كنتيجة للتقدم العلمى والهندسى العام للبلاد . فقد خلق كل برنامج من برامج السنوات الخمس الاقتصادية فرصا للعمل فى ميدان الاتصالات اللاســـلكية والاذاعة والصـــناعة وكذلك للأبحاث المتزايدة فى هذه المجالات .

وقد أشار الرفيق ن . س . خروشوف فى تقريره الذى ألقاه فى الاجتمـــاع الواحد والعشرين للحزب الشـــيوعى الســـوفيتى الى تطوير الوسائل الآلية فى الصناعة والاقتصاد القومى ، وقد وجه عناية خاصة

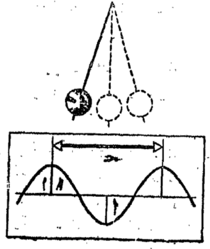
للاسلكى والالكترونيات وبخاصة للآلات الحاسبة الالكترونية ، كذلك أعدت العدة لتطورات أكبر فى ميدان الاتصالات اللاسلكية والاذاعة . فقد تقرر زيادة عدد الأجهزة اللاسلكية الى ٣٠ مليونا فى عام ١٩٦٥ منها ١٢٫٥ مليون جهاز تليفزيون ، كما تقرر بناء حوالى ١٠٠ مركز تليفزيونى آخر ، وسترتبط خطوط المتابعة اللاسلكية موسكو بأبعد المدن وهى فلاديفوستوك فى الشرق وكيشينيف وأوزجورود فى الجنوب الغربى . وستصل برامج التليفزيون المذاعة من استديوهات موسكو عن طريق هذه الخطوط الى كافة المدن فى وسط البلاد كما ستمكن هذه الخطوط فى المستقبل من تبادل البرامج مع تشيكوسلوفاكيا والمجر وجمهورية الصين الشعبية .

ومما لا شك فيه أن التطور المستمر للصناعات اللاسلكية والأبحاث فى ميادين الالكترونيات سيضمن الاستخدام السريع المنتشر للالكترونيات فى الاتحاد السوفيتى .

وسيقتصر هذا الكتاب على شرح أحدث فروع الالكترونيات والتى لا يعرف عنها الكثير . ولتجنب تكرار الايضاح ، سنعالج الفيزيائيات الأساسية فى هذه المقدمة .

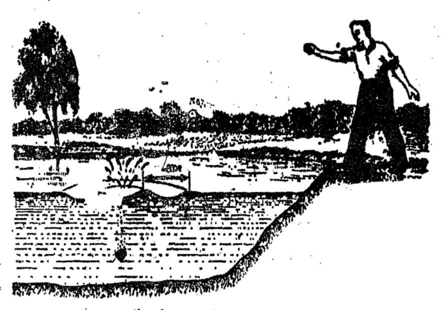
الذبذبات والموجات

تشبه الموجات اللاسلكية الأمواج على سطح الماء فى أنها عملية دورية . وهناك كثير من الظواهر الطبيعية التى تحتوى على عمليات دورية . وتختلف العمليات الدورية عن باقى العمليات فى أن الجسم المتحرك حركة دورية يعود الى وضعه الابتدائى بعد وقت محدد يسمى مدة الدورة ثم يبدأ دورة جديدة من حركته ، وعلى هذا يكون تكرار النهار والليل وتعاقب الفصول عمليتين دوريتين . وتعتبر الحركة التذبذبية نوعا من أنواع العمليات الدورية . وأشهر العمليات الدورية التذبذبية هى تمايل البندول (شكل ١) فالبندول المتمايل ينحرف الى كلا جانبى وضع التوازن المرة تلو المرة . ويسمى تمايل البندول ، أى المسافة من وضع التوازن الى أقصى وضع انحراف له ، باتساع ذبذبة البندول ، أما بالنسبة للموجات على سطح الماء فان الاتساع هو نصف المسافة الرأسية من قمة الموجة الى قرارها .



(شكل ١) ذبذبة البندول والتمثيل البيانى للحركة الموجية
أ ــ الاتساع ج ــ طول الموجة

وتستغرق كل ذبذبة من ذبذبات البندول وقتا محددا يسمى فترة الذبذبة • وفترة الذبذبة فى العمليـات الموجية هى **الزمن الذى ينقضى** بين مرور نقطة معينة بقمتين متجاورتين للموجة (شكل ٢) • وفى هذا الزمن تتحرك الموجة الى الأمام مسافة تساوى طولها بالضبط ، وعلى هذا يمكننا أن نعرف طـول الموجة بأنه المســافة بين قمتى موجتين متجاورتين •



(شكل ٢) الموجات على سطح الماء
ج ــ طول الموجة

وتساعد دراسة هذه العمليات الدورية البسيطة على فهم المقصود بكلمة التردد · فتردد البندول المتمايل هو عدد الذبذبات الكاملة التى يتمها فى ثانية واحدة ·

وبما أن الزمن المطلوب لاكمال ذبذبة كاملة (تسمى عادة بالدورة أو السايكل) يساوى فترة الذبذبة ، فان التردد هو عدد فترات الذبذبات فى الثانية ·

والمثال الثانى من أمثلة العمليات التذبذبية هو تذبذب وتر الكمان أو الجيتار · اذ ــ كقاعدة ــ ينحرف الوتر بأكمله وفى وقت واحد الى أحد جانبى وضع التوازن ، ثم يعود اليه ثم ينحرف ثانية ولكن فى الاتجاه المضاد هذه المرة ، ويظل طرفا الوتر المثبتان ساكنين ولا يتدخلان فى هذه الحركة ، بينما تتحرك النقطة الوسطى للوتر بأكبر اتساع · وتستغرق كل نقطة على الوتر نفس الزمن لتكمل دورة كاملة · وهذا يعنى أن كافة نقط الوتر تتذبذب بنفس التردد · ويتوقف تردد تذبذب الوتر على كتلته وشده · فكلما غلظ الوتر وزاد ارتخاؤه انخفض تردده وغلظت النغمة الصادرة عنه ·

والصوت عملية تذبذبية أيضا ، اذ يضغط الوتر المتذبذب دوريا على جزيئات الهواء المحيط به ، وينتقل هذا التضاغط من جزء الى آخر على شكل موجات صوتية تمتد فى جميع الاتجاهات ·

ومن الحقائق المعروفة عن الصوت أن سرعته فى الهواء لا تتوقف على شدته ولا طبقته ، أى أن الأصوات العالية لا تسبق الأصوات الضعيفة والأصوات الحادة لا تسبق الأصوات الغليظة ولا تتأخر عنها ، ومن هذا نرى أن طول الموجة الصوتية مرتبط بطبقتها ، أى بفترة ذبذبة الصوت ، اذ أن الصوت ينتقل فى مدة الذبذبة الواحدة مسافة تساوى طول موجته ، وهذه العلاقة تربط طول الموجة وفترة الذبذبة وسرعة امتداد الأنواع الأخرى من الموجات بما فيها الموجات اللاسلكية · فكلما زادت فترة الذبذبة طالت الموجة وذلك بالنسبة لسرعة امتداد معينة ·

وهنا قد يتعرض البعض على ما قلناه بما يلى :

اذا اقترب أحدهم من فرقة آلات نحاسية يسمع أولا صوت الطبول والآلات غليظة الصوت ، ألا يعنى هذا أن الموجات الأطول ــ وهى التى تناظر النغمات ذات الطبقة المنخفضة ــ تسبق الموجات الأقصر وهى التى تناظر النغمات عالية الطبقة · مثل هذه الفكرة خاطئة ، فان تفسير

هذه الظاهرة ليس أن النغمات منخفضة الطبقة تسبق تلك عالية الطبقة ، بل ان الطبقات المنخفضة (الموجات الطويلة) لا تتضاءل بالمرور فى الهواء كما تفعل تلك العالية (الموجات القصيرة) ، كما انها أقدر على التغلب على العقبات المختلفة التى قد تصادفها فى طريقها · لهذا يمكن سماعها على مسافة أبعد من تلك التى يمكن عندها سماع الأصوات عالية الطبقة التى تمتص وتتبدد فى الهواء بدرجة أكبر · وبما أنه يمكن سماع الأصوات ذات الطبقة المنخفضة على مسافات أبعد ، تكون هذه الأصوات أول مايسمع عند اقتراب المرء من فرقة آلات نحاسية ·

ومع ذلك فهناك حالات تتوقف فيها سرعة الامتداد على طول الموجة ، فمثلا تنتشر الموجات الكبيرة على سطح الماء أسرع مما تفعل الصغيرة · وتتحرك موجات المد العظيمة الناتجة عن الزلازل التى تحدث فى قاع البحر بسرعة ملحوظة · وعندما تصطدم هذه الموجات بالشاطىء تسبب غالبا أضرارا جسيمة ·

ولا تتوقف سرعة الضوء على طول موجته (أى لونه) عندما يتحرك فى الفراغ فقط ، أما اذا تحرك الضوء فى وسط ما مثل الزجاج أو الماء أو البلورات الشفافة ، فان سرعة موجات الضوء الأطول (الضوء الأحمر) تكون أكبر قليلا من سرعة الموجات الأقصر (الضوء البنفسجى) · وهذا يفسر ظهور قوس قزح · وتحليل الضوء الأبيض الى طيف ــ كقاعدة ــ يمكن ملاحظته أحيانا عندما يمر الضوء فى أطراف جسم شفاف · ويسمى اعتماد سرعة الامتداد على طول الموجة بتشتت الضوء ·

ويلاحظ التشتت أيضا عند امتداد الموجات اللاســلكية فى جو الأرض · وكذلك تلعب هذه الخاصية دورا هاما فى نقل الموجات اللاسلكية فى الأنابيب المعدنية المسماة بدلائل الموجات والتى تستخدم فى المعدات العاملة على الموجات السنتيمترية ·

وعندما يصطدم الصوت بحائل ، تضغط موجاته عليه ضغطا دوريا ، ولكننا عادة لا نستطيع أن نحس بهذا الضغط أو نكتشف تأثيره على الأشياء المحيطة بنا لأن الضغط الناتج عن موجات الصوت صغير جدا ، ولكن تستطيع آذاننا فقط الاحساس به ·

ومع ذلك فليس الاســتماع هو الوســيلة الوحيــدة التى يمكننا بواساطتها الاحساس بالصوت ، بل يمكن لوتر مشدود ان يحس بموجات الصوت الناتجة عن وتر آخر ، فبزيادة شد الوتر الأول تدريجيا يمكن أن نجعله يهتز بتاثير الثانى ، وفى هذه الحالة يتطابق الصوتان الصادران

من الوترين ، ويقال أن الوترين موالفان على تردد الرنين ، وهنا تصبح أصغر قوة كافية لان تجعل الوتر يهتز باتساع ملحوظ • ولكن اذا زيد شد الوتر أو أنقص ، قل اتســـاع الاهتزاز كثيرا • فاذا رسمنا منحنى بيانيا يمثل تغير اتساع ذبذبة الوتر مع الموالفة نحصل على منحنى له قمة حادة عند الرنين • يسمى هذا المنحنى الرنين •

ويتوقف ضيق منحنى الرنين على جودة الوتر • واذا بدأ وتران فى الاهتزاز معا بنفس الاتساع ، يصدر الوتر ذو منحنى الرنين الأضيق صوتا لمدة أطول •

وهذا يعني أن ذبذبة هذا الوتر تتضـاءل بدرجـة أقل من تلك الصادرة عن الآخر • وتتوقف قيمة المضاءلة على السرعة التى تشع بها الطاقة المختزنة فى الوتر (أو أى نظام متذبذب آخر) فى الفضاء وتفقد بالاحتكاك •

وليس الرنين من خصائص الأوتار فقط بل انه من خصائص أى نظام متذبذب • وفى بعض الأحيان يمكن استـخدام الرنين استخداما نافعا ، بينما يمـكن أن يكون ضـارا فى أحيان أخرى ويجب ازالته ، وقد أصبح معروفا الآن أن الكبارى تنهار وأجنحة الطائرات تتحطم اذا حدثت فيها ذبذبات رنينية ، بينما يستخدم الرنين فى الهندسة اللاسلكية فى جميع أجهزة الاستقبال لفصل اشارات المحطات اللاسلكية المطلوبة عن اشارات باقى المحطات ، وكذلك فى أغراض أخرى •

ولندرس الآن احدى السمات الهامة للحركة التذبذبية •

يختزن البندول أو الوتر عندما يكون فى أحد وضعيه الأفقيين كمية معينة من الطاقة ، وتتوقف الكمية الفعلية لهذه الطاقة المختزنة على وضع البندول أو الوتر • وتسمى الطاقة التى تعتمد على وضع الجسم بطاقة الوضع •

فاذا ما أطلق البندول يبدأ فى الحركة بفعل الجاذبية الأرضية أولا وكنتيجة للقوى الرجوعية ثانيا ، وتتزايد سرعة الحركة باستمرار حتى تصل الى نهايتها العظمى وذلك عندما يمر البندول أو الوتر بنقطة التوازن، ففى هذه النقطة تكون طاقة الوضع التى كانت مختزنة فى الجسم فى البداية قد نفدت بأكملها •

ولكن الطاقة لا تختفى بذلك ، فان الجســم يكتسب طاقة حركة بتزايد سرعته ، وتزيد هذه الطاقة — كما هو معروف — بزيادة كتلة

الجسم وسرعته . وعندنقطة التوازن ، تصل سرعة البندول أو الوتر الى أقصاها كما ذكر من قبل ، وبالتالى تصل طاقة حركته أيضا الى نهايتها العظمى عند هذه النقطة . وبهذا تتحول طاقة وضع الجسم المتذبذب — باقترابه من وضع التوازن — الى طاقة حركة .

ولكن لا يستطيع الجسم المتحرك أن يظل فى وضع التوازن ، اذ يحمله القصور الذاتى بعيدا عن هذا الوضع ، وبتحرك البندول الى الأمام يرتفع الى أعلى ، أى تتحول طاقة حركته الى طاقة وضع نتيجة للجاذبية الأرضية . وفى حالة الوتر المتذبذب ، تتحول طاقة الحركة الى طاقة وضع نتيجة للشد .

وعندما تستهلك طاقة الحركة بأكملها ، يصل الجسم الى حالة السكون فى وضعه الأقصى الثانى ، فاذا لم يكن هناك احتكاك أو أى فقد آخر للطاقة ، يصل الجسم الى نفس طاقة الوضع الأول التى كانت له فى بداية حركته ، أما اذا كان هناك فقد للطاقة فان تأرجح (اتساع) الذبذبات يقل تدريجيا حتى تقف الذبذبة نهائيا . وكلما كان فقد الطاقة أكبر خمدت الذبذبات أسرع .

وبهذا نرى أن الحركة المتذبذبة الميكانيكية تتضمن تحويلا مستمرا للطاقة من طاقة وضع الى طاقة حركة وبالعكس .

ويختلف تردد العمليات المتذبذبة اختلافا بينا ، فمثلا يتذبذب بندول ساعة الحائط المعتادة مرتين فى الثانية ، وهذا يعنى أن كل ذبذبة تستغرق نصف الثانية ، وبعبارة أخرى يكمل البندول دورتين كاملتين فى الثانية ، أو يتذبذب بتردد قدره ذبذبتان (دورتان) فى الثانية .

وتتذبذب الأوتار بترددات أعلى، ويمكن للانسان أن يسمع الأصوات التى لا يقل ترددها عن ١٦ دورة فى الثانية ولا يزيد على ١٥٠٠٠ الى ٢٠٠٠٠ دورة فى الثانية ، أما الترددات المستخدمة فى الهندسة اللاسلكية فأعلى من ذلك بكثير . وتقاس الترددات التى تعمل عليها المحطات اللاسلكية عادة بآلاف الدورات فى الثانية — أو الكيلو دورة فى الثانية (كيرو سايكل) — وبالمليون دورة فى الثانية أو الميجاسيكل فى الثانية .

الذبذبات الكهربائية

ساعدتنا دراسة الذبذبات الميكانيكية على فهم السـمات الرئيسية للعمليات التذبذبية ، وسنتناول الآن الذبذبات المغناطيسية الكهربائية ، وهى أساس الهندسة اللاسلكية ٠

وتختلف الذبذبات المغناطيسية الكهربائية عن زميلتها الميكانيكية فى أنها تتضمن تغييرا فى وضع أى جسم فى الفراغ ، ولا تساعدنا أى من حواسنا الخمس على الاحساس بها احساسا مباشرا ، فليس لنا حاسة كهربائية ، ومن بين كافة الموجات المغناطيسية الكهربائية المختلفة ، لا يمكننا الاحساس الا بموجات الضوء وذلك بوساطة أعيننا (★) ٠

ومع ذلك يمكننا ـ بأجهزة خاصة ـ الكشف عن الموجات المغناطيسية الكهربائية عندما لا تشعر حواسنا نهائيا بوجود أية عملية تذبذبية ، ويمكننا تتبع تحويل النوع من الطاقة الى الآخر فى الذبذبات المغناطيسية الكهربائية تماما كما فى حالة الذبذبات الميكانيكية ٠ بل يمكننا تحويلها الى ذبذبات ميكانيكية ودراسة هذه الأخيرة مباشرة ٠ وقد أظهر هذه الأبحاث أن القوانين العامة التى تحكم الذبذبات الميكانيكية تنطبق أيضا على الذبذبات المغناطيسية الكهربائية ٠

تمد محطات القوى الكهربائية المنشآت بتيار انارة متردد ٠ وقد اشتق هذا الاسم من أن التيار المار فى المصباح المتوهج يهبط من قيمته العظمى الى الصفر ثم يتزايد ثانية فى الاتجاه المضاد ثم بعد أن يصل الى نهاية عظمى يعود فيهبط الى الصفر ، وتتم هذه العملية بمعدل حوالى ٥٠ مرة فى الثانية ، ولما كان هذا التيار يتذبذب خمسين ذبذبة كاملة فى الثانية فانه يقال ان تردده ٥٠ سايكل فى الثانية ٠

وهنا يتساءل البعض : لماذا لا نشعر بأى ارتعاش فى الضوء المنبعث من المصباح ما دامت قيمة التيار المار فى المصباح تتغير دوريا وباستمرار بحيث تمر بالصفر ؟ ٠

(★) بالاضافة الى الموجات الضوئية ، يحس الجلد بالموجات المغناطيسية الكهربائية ذات الموجات الأطول من موجات الضوء المرئى ـ على ألا يزيد طولها على ثلاث أعشار المليمتر ـ على هيئة موجات حرارية ٠ أما الموجات فوق البنفسجية التى تسبب اسمرار الجلد عند تعرضه للشمس والأشعة السينية التى يمكنها أن تدمر خلايا الجسم فمن الموجات المغناطيسية الكهربائية أيضا ولكن موجاتها أقصر من موجات الضوء ٠

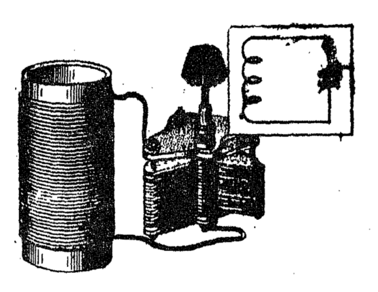
هذا ــ فى الحقيقة ــ نتيجة لأن التردد ٥٠ سايكل فى الثانية عال بحيث لا تجد شعيرة المصباح وقتا كافيا لتبرد بشكل ملحوظ عندما يضمحل التيار ، وبالاضافة الى هذا ، فهناك خاصية معينة ــ تسمى المداومه (انظر الفصل الثانى) ــ تمنعنا من أن نرى مثل هذه التغيرات السريعة فى شدة الاضاءة ٠ وهناك صمامات خاصة تسمى الخلايا الضوئيه ــ سنتكلم عنها فى الفصل الثانى ــ مداومتها أقل بكثير من العين البشرية ، وهى لهذا قادرة تماما على الاحساس بالتغير فى شدة اضاءة المصباح المتوهج ٠

ولو كان تردد منبع التيار الكهربائى أقل لما كان هناك شك فى مقدرة العين البشرية على الاحساس بالارتعاش فى ضوء المصباح ٠

وتولد التيارات الكهربائية ذات التردد المنخفض عادة بوسائل ميكانيكية ٠ فمثلا يولد التيار الكهربائى المستخدم فى الانارة بمولدات تيار متردد تدار بالبخار أو التربينات الايدروليكية ٠

وتولد الذبذبات ذات التردد العالى ــ بما فيها تلك المستخدمة فى الهندسة اللاسلكية ــ عادة بوسائل كهربائية بحتة ٠

وتنشأ الذبذبات الكهربائية عندما يوصل ملف من سلك نحاسى بمكثف (شكل ٣) ويتكون المكثف من ألواح معدنية تفصلها طبقات من الهواء أو أية مادة عازلة ٠



(شكل ٣) : دائرة تذبذبية كهربائية تتكون من مكثف وملف وتمثيلها الرمزى ٠

وللمكثفات القدرة على اختزان الطاقة الكهربائية ، وكلما زادت سعة المكثف زادت كمية الطاقة المختزنة · ويمكن مقارنة سعة المكثفات بسعة الأوعية العادية الا أنها لا تختزن سائلا أو غازا بل طاقة كهربائية · وتتوقف السعة الكهربائية للمكثف على تركيبه وتقاس بوحدات خاصة تسمى الفاراد وهذه الوحدات كبيرة جدا ، لهذا استخدم الجزء من مليون من الفاراد (الميكروفاراد) أو حتى الواحد من مليون من الميكروفاراد (البيكافاراد) فى القياسات العملية ·

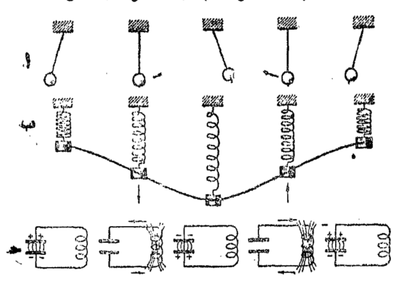
واذا شحن مكثف ذو سعة عالية ـ (١ ميكروفاراد مثلا) بالطاقة الكهربائية من بطارية جافة عادية ذات ٨٠ فلطا ، فستنتج ـ عند قصر دائرة طرفيه ـ شرارة يصحبها صوت مسموع ·

ويمكن للملفات المصنوعة من الأسلاك أن تختزن الطاقة أيضا وذلك نتيجة لأن التيار الكهربائى المار فى أى ملف لا يمكنه التوقف فورا · وهذه ظاهرة تذكرنا بالقصور الذاتى للأجسام العادية المتحركة · ويتوقف المعدل الذى يتناقص به التيار الكهربائى المار فى ملف بعد فصل منبع القدرة الكهربائية عنه على حث الملف ، الذى يتوقف بدوره ، على حجم الملف وشكله وعدد لفاته ويزيد حث الملف بزيادة حجمه وعدد لفاته ·

وعندما يمر تيار مستمر فى ملف ، يتكون حوله مجال مغناطيسى ، فاذا كان التيار قويا بالدرجة الكافية ، يمكن لمثل هذا الملف أن يجذب الأجسام الحديدية ، أى أنه يصبح مغناطيسا · وهذا المجال المغناطيسى للملف هو الذى يختزن طاقة التيار المار فيه · وعندما تقطع دائرة المنبع، يتداعى المجال المغناطيسى ، وهو بهذا يساعد على استمرار التيار فى الملف ، وكنتيجة لهذا لا يتوقف التيار فورا وانما يتناقص بالتدريج ، ويبدأ اختزان الطاقة الكهربائية عندما تقفل دائرة المنبع · وهذا يجعل تزايد التيار تدريجيا بحيث يصل الى نهايته العظمى فقط بعدما يحصل المجال المغناطيسى على كفايته من الطاقة · وكلما زاد حث الملف زادت الطاقة المختزنة فى مجاله المغناطيسى وزاد الزمن الذى يستغرقه التيار ليصل الى نهايته العظمى التى تحددها فلطية المنبع ومقاومة الملف ·

واذا وصل ملف عبر مكثف مشحون ، يسرى تيار فى الملف يتزايد تدريجيا ، ويتكون مجال مغناطيسى حول الملف يمتص الطاقة الكهربائية التى كانت مختزنة فى المكثف · ويصل التيار وكذلك شدة (اتساع) المجال المغناطيسى الى أقصى قيمة عندما تستهلك الطاقة الكهربائية المختزنة فى المكثف · وفى هذه اللحظة تكون الطاقة الكهربائية بأكملها قد تحولت

الى طاقة مغناطيسية فى المجال المغناطيسى للتيار المار فى الملف • ويمكن مقارنة هذه الطاقة بطاقة الحركة لبندول متحرك (شكل ٤) •



(شكل ٤) : ثلاث نظم تذبذبية :
أ ـ بندول ب ـ وزن متصل بزنبرك
جـ ـ دائرة تذبذبية كهربائية أثناء التذبذب تتحول فيها طاقة الوضع الى طاقة حركة ثم الى طاقة وضع ثانيا •

وبالرغم من استهلاك الطاقة المختزنة فى المكثف ، يستمر التيار فى السريان فى نفس الاتجاه السابق ، وتدفعه فى هذا الاتجاه طاقة المجال المغناطيسى الذى تكون فى الجزء الأول من العملية • وهذا التيار يشحن المكثف ثانية ولكن بحيث يصبح اللوح الذى كان موجبا فى البداية مشحونا بشحنة سالبة وبالعكس • ويستمر التيار فى السريان بتأثير طاقة المجال المغناطيسى ـ كما لو كان بالقصور الذاتى ـ متناقصا فى قيمته حتى يصل الى الصفر •

ويتوقف التيار عن السريان نهائيا فى اللحظة التى يستهلك فيها المجال المغناطيسى تماما ، وفى نفس الوقت يكون المكثف قد شحن ثانية بحيث يعود الى فلطيته الأصلية وبهذا تكون الطاقة المغناطيسية قد تحولت الى طاقة كهربائية تعود الى دفع تيار كهربائى فى الدائرة ولكن فى الاتجاه العكسى • ويمكن أن تستمر هذه العملية بلا نهاية اذا لم تفقد الطاقة الكهربائية فى تسخين الأسلاك أو بالتبديد فى الفضاء •

وبهذا تنشأ فى دائرة تتكون من سعة وحث عملية تذبذبية تتحول فيها الطاقة الكهربائية الى مغناطيسية وبالعكس ، ويسرى تيار متردد فى الملف وتتكون شحنة مترددة باستمرار عبر المكثف • ويتوقف الزمن

المطلوب لكل ذبذبة (فتـرة الذبذبة) على قيم السـعة والحث فى الدائرة ٠

وفى كل ذبذبة ، تتسبب مقاومة الأسلاك فى فقد جزء من الطاقة المغناطيسية الكهربائية فى تسخينها ، وكذلك يفقد جزء من الطاقة فى تسخين العازل — الذى يعتبر جزءا من المكثف — أو فى جذب لفات الملف الى بعضها ٠ وكنتيجة لهذا ، تأخذ سعة الذبذبات الكهربائية فى التناقص، أى تأخذ الذبذبات فى التضاؤل ٠ ومع ذلك فليس هذا هو السبب الوحيد الذى من أجله تتضاءل الذبذبات ، بل هناك أيضا سبب آخر ، فان الطاقة الكهربائية لا تتركز بكاملها فى المكثف ، فمهما كانت المسافة بين ألواح المكثف صغيرة ، يمتد جزء من المجال الكهربائى خارج المكثف منتشرا فى مناطق كبيرة من الفضاء ٠ وكذلك توجد نفس الظاهرة بالنسبة للمجال المغناطيسى للملف ٠ وبهذا يتضح أن هناك جزءا معينا من الطاقة المغناطيسية الكهربائية الموجودة فى المجال المغناطيسى الكهربائى لا يظل محصورا فى نطاق الدائرة أثناء التذبذب ، بل يشع فى الفضاء على شكل موجات مغناطيسية كهربائية ٠ ويكون تردد هذا الاشعاع هو نفس تردد الذبذبات فى الدائرة وسرعة انتشاره مساوية لسرعة انتشار موجات الضوء ٠

واذا لم تكن أبعاد المكثف والملف والأسلاك الموصلة صغيرة بالدرجة الكافية بالنسبة لطول الموجة المغناطيسية الكهربائية المتولدة ، فان كمية الطاقة المشعة تصبح كبيرة ٠

وقد أظهرت الأبحاث المتعددة أن طبيعة الموجات المغناطيسية الكهربائية هى نفس طبيعة الضوء المرئى وأن الفرق الوحيد بينهما هو التردد وبالتالى طول الموجة ٠ وهذه الموجات المغناطيسية الكهربائية التى تتراوح أطوال موجاتها من عدة كيلو مترات الى كسور من المليمتر هى التى تستخدم فى الهندسة اللاسلكية ٠

وفى غالبية الاسـتخدامات العلمية والفنية للمعدات اللاسـلكية ، يكون اشعاع الطاقة المغناطيسية الكهربائية خارج حدود المنشأة ضارا ، وفى هذه الحالات ينتقى المهندسون تصميمات المكثفات والملفات بعناية لتركيز طاقة المجال المغناطيسى الكهربائى داخلها ٠

ولكن الأمر على العكس تماما بالنسبة للاتصالات اللاسلكية والاذاعة والتليفزيون وباقى الاستخدامات اللاسلكية المتضمنة ارسال الاشارات لمسافات بعيدة ، اذ يكون اشعاع الطاقة المغناطيسية الكهربائية على شكل

موجات لاسلكية أمرا ضروريا جدا • وقد عمد بوبوف ـ مخترع الراديو ـ الى زيادة ذلك الجزء من المجـــال الكهربائى الذى يقع خارج المكثف اصطناعيا لتحويل أكبر كمية من طاقة الذبذبات الكهربائية الى موجات لاسلكية •

لهذا أبعد لوحى المكثف الواحد عن الآخر بحيث كان غالبية مجال المكثف خارجه • وكان لوحا هذا المكثف على شكل سلكين طويلين أطلق على أحدهما ـ المركب على عامود ـ اسم الهوائى ، بينما مد الثانى قريبا من الأرض وسماه السلك المقابل (وهو ليس ضروريا اذا كان الطرف الثانى للملف الحثى متصلا بالأرض) •

وقد لعبت فكرة الدائرة التذبذبية « المفتوحة » واختراع الهوائى دورا رئيسيا فى تطوير الاتصالات اللاسلكية •

وقد أمكن الحصول على نتائج أحسن بتوليف الهوائى •

نحن نعرف الآن ان الدائرة التذبذبية الكهربائية تتكون من سعة وحث • وتتركز السعة عادة فى مكثف والحث فى ملف من السلك • ومع ذلك فلكل سلك ـ ولو لم يكن ملفوفا على شكل ملف ـ بعض الحث ، وهذا الحث أقل بالطبع من حث نفس السلك اذا لف على هيئة ملف ، ولهذا السلك أيضا بعض السعة ، ونتيجة لهذا يمكن اعتبار الهوائى دائرة تذبذبية الى حد ما •

فاذا نظرنا الى الهوائى كدائرة تذبذبية ذات سعة وحث محددين، نجد أنه يتميز ـ كأية دائرة تذبذبية ـ بتردد رنين ـ أو تردد طبيعى ـ خاص • فاذا لم ينطبق التردد الطبيعى للهوائى وتردد الذبذبات الكهربائية التى تغذيه ، يكون التيار فى الهوائى صغيرا ، أما اذا انطبق التردد الطبيعى للهوائى وتردد الذبذبات الكهربائية ، فان تيـار الهوائى يكبر كثيرا عن الحالة الأولى • فاذا أردنا زيادة كفاية الهوائى يجب أن نتمكن من تغيير تردده الطبيعى بحيث يمكننا أن نوالفه على الرنين مع تردد الذبذبات الكهربائية •

ولما كان تردد الرنين متوقفا على قيمة السعة والحث فى الدائرة التذبذبية ، فانه يجب أن تتغير سعة وحث الهوائى حتى يمكن موالفته • وبالرغم من أن سعة الهوائى وحثه يتوقفان على طوله ، الا أنه ليس من السهل موالفة الهوائى بتغيير طوله • لهذا يوالف الهوائى ـ فى حدود المدى المعتاد من الترددات ـ باستخدام مكثف متغير أو ملف متغير يتصل

على التوالى مع الهوائى ٠ وتكون هذه السعة أو هذا الحث جزءا سهل التغيير من دائرة الهوائى التذبذبية ٠ وبهذا يسهل تغيير تردد رنين الهوائى أو بعبارة أخرى تسهل موالفته ٠

ويرفع المكثف المتصل على التوالى مع الهوائى تردده الطبيعى ، أى يوالفه على موجة أقصر ٠ أما الملف الحثى المتصل على التوالى مع الهوائى فينقص التردد ، أى يزيد طول الموجة ٠ ويسمى هذا الملف بملف التحميل ٠

وتزيد موالفة هوائى جهاز الارسال من تيار الهوائى وبالتالى من اشعاع الموجات اللاسلكية ٠

كذلك تزيد موالفة هوائى جهاز الاستقبال من شدة التيار الناتج عن الموجة اللاسلكية المستقبلة مما يزيد من حساسية جهاز الاستقبال كما تهبه أيضا خاصية هامة هى الانتقائية ، أى قابلية الجهاز لاستقبال الموجات ذات الطول المطلوب فقط ٠ ويمكن معرفة مدى أهمية هذه الخاصية بسهولة من المثال الآتى : لنفترض أن هوائيا غير موالف استقبل اشارتين من محطتين لاسلكيتين لهما نفس القدرة وعلى نفس المسافة ولكن تعملان على موجتين مختلفتين ٠ هاتان المحطتان ستولدان تيارين بنفس الشدة فى الهوائى غير الموالف ولهذا تسمع المحطتان فى وقت واحد وبنفس الصوت ، مما ينتج عنه أن تتداخل المحطتان بحيث يستحيل الاستقبال ٠

أما اذا كان الهوائى موالفا على موجة احدى هاتين المحطتين ، يكون التيار المستحث فيه نتيجة لاشارات هذه المحطة أكبر بعشرات المرات من الأخرى ، وتزيد قوة استقبال هذه المحطة بشكل واضح ٠ وفى نفس الوقت تظل قوة استقبال المحطة الأخرى بلا تغيير فلا تتداخل مع المحطة المنتقاة ٠

وفى مدى الموجات الطويلة والمتوسطة يكون من الصعب جعل الهوائى طويلا بالدرجة الكافية للموالفة على تردد الرنين بدون استخدام ملف على التوالى ٠ أما فى مدى الموجات القصيرة ـ وبالأخص فى مدى الموجات المترية المستخدم فى التليفزيون ـ فان الموقف يختلف تماما ٠

تصنع هوائيات التليفزيون عادة من موصل واحد مقسم الى جزئين متساويين ٠ ويتكون أبسط هوائى تليفزيونى من جزئين متساويين من أنبوب معدنى ويتصل بجهاز الاستقبال أو الارسال بسلكين يتصلان

بنصفيه . وتتوقف موالفة مثل هذا الهوائى أساسا على طوله . ويكون تردد رنين معظم الهوائيات الشائعة من هـذا الطراز على موجة يساوى طولها ضعف طول الهوائى ، ويكون رنين مثل هذا الهوائى - ويسمى هوائى ثنائى القطب بطول نصف موجة - بالنسبة للموجات اللاسلكية شبيها بالطريقة التى يحدث بها رنين وتر مشدود من طرفيه مع موجة صوتية .

وهناك بعض أنواع من الهوائيات - وهى المستخدمة فى ارسال واستقبال موجات الرادار السنتيمترية - لا تشـبه تلك المستخدمة فى أجهزة ارسال واستقبال الموجات الطويلة . وسنتناول هذه الهوائيات التى تشبه الأضواء الكاشفة والأبواق سواء فى المظهر أو طريقة العمل بتفصيل أكثر فى الفصل الثالث .

ومن كبار المتخصصين فى ميدان نظرية الهوائيات وهندستها أ . أ بيستولكورز الذى منح ميدالية بوبوف الذهبية . وقد قام العلماء م . أ بونش - برويبفتش و د . أ . روجانسكى و ف . ف تاتارينوف و م . أ . شوليكين و ج . ز . ايزنبرج و ى . ج . كلياتسكين و م . أ . ليونتوفيتش و أ . ل . مينتس و م . س . نيمان و ى . ن . فيلد وآخرون فى الاتحاد السوفيتى و ج . و . و . هاو و ك . فرانكلين فى انجلترا و ف . كارتر و س . شيلكونوف وآخرون فى الولايات المتحـدة بمجهودات كبيرة فى هذا الميدان .

الصمامات الالكترونية

تتضاءل الذبذبات الكهربائية التى قد تنشأ لسبب أو آخر فى دائرة تذبذبية بمضى الوقت نتيجة لفقد الطاقة . وفى الأيام الأولى للاسلكى كانت تســتخدم شرارة كهربائيـة لاثارة الذبذبات . أما الآن فتولد الذبذبات الكهربائيـة عموما بالاستعانة بالصمامات الالكترونية .

ويعتمد عمل الصمام الالكترونى على ما يسمى « بظاهرة اديسون » التى اكتشفها ذلك المخترع العظيم سنة ١٨٨٤ ، ففى ذلك الوقت كان اديسون فى صراع مع ظاهرة غريبة كانت تحدث فى المصابيح الكهربائية المتوهجة . وفى تلك الأيام كانت شعيرة المصباح المتوهج توضع فى غلاف زجاجى يفرغ منه الهواء جيدا . ولعدم وجود هواء داخل الغلاف ، تسخن الشعيرة ، حتى تتوهج بضوء ساطع ولكنها لا تحترق ، وكان التيار المستخدم فى تسخين الشعيرة مستمرا .

ومع ذلك فقد اكتشف سريعا أنه بالرغم من الحرص الشديد فى تحضير الشعيرة وتفريغ الهواء من الغلاف ، كانت المصابيح تحترق بسرعة، والأكثر من هذا أنها كانت تحترق من طرفها ، وبالذات ذلك الطرف المتصل بالقطب الموجب للمنبع الكهربائى ·

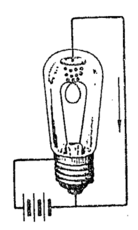
وقد لاحظ اديسون أن ذلك الطرف كان يتوهج بضوء أنصع من الطرف الآخر ، فاذا عكست قطبية المنبع يصبح الطرف الآخر أنصع ويحترق بسرعة · وبهذا توصل اديسون الى أن احتراق المصباح لم يكن نتيجة لعيب فى الشعيرة ولكن نتيجة لعدم انتظام التسخين على طولها ، الأمر الذى كانت له علاقة ما بقطبية الماكينة الكهربائية التى تغذى المصباح ·

وبعد أبحاث طويلة توصل اديسون الى استنتاج أن الشعيرة المتوهجة تبعث دقائق مشحونة بشحنة سالبة تنجذب الى الجزء من الشعيرة المتصل بقطب الماكينة الموجب والذى يحمل — لهذا — شحنة موجبة · وهذه الشحنة الموجبة هى التى تجذب الالكترونات التى تصطدم — بعد أن تتسارع الى سرعات كبيرة — بالطرف الموجب للشعيرة ، ويتسبب هذا الاصطدام فى رفع درجة حرارة الشعيرة جدا حتى تتحلل ·

ومع ذلك لم يستخدم اكتشاف اديسون فى منع احتراق شعيرات المصابيح المتوهجة ، وكان السبب فى ذلك — ببساطة — هو أن منابع تغذية تيار الاضاءة تحولت من التيار المستمر الى التيار المتردد وأصبح التحلل يحدث من الطرفين بانتظام مما منع الاحتراق المبكر للشعيرة ، كما طال عمر المصابيح الحديثة أيضا نتيجة لملئها بغاز خامل مثل الأرجون أو الكريبتون بدلا من تفريغها من الهـواء · وهذا لا يقلل من تصادم الالكترونات بالشعيرة فحسب بل يقلل كثيرا أيضا من تبخر المعدن من سطح الشعيرة المتوهجة مما يؤخر التحلل كثيرا ·

وهنا قد يبدو أنه لم يكن هناك داع لذكر هذا العمل من أعمال اديسون الذى لم يحل المشكلة التى كانت سببا فيه · ولكن كان من الأهمية العظمى للعلم أن استطاع اديسون أن يثبت لأول مرة أن التيار الكهربائى يمكن أن يمر فى الفراغ فى بعض الظروف وفى اتجاه واحد فقط ، من شعيرة متوهجة الى قطب بارد (★) · وكان هذا الاكتشاف هو أساس عمل الصمام الالكترونى (شكل ٥) ·

(★) نعنى باتجاه التيار فى هذا الكتاب الاتجاه الذى تتحرك فيه الالكترونات ·



(شكل ٥) : الرسم التخطيطى لتجربة اديسون • تطير الالكترونات المنبعثة من الشعيرة المتوهجة فى الفراغ وعندما تصطدم بلوح الأنود تعود الى الشعيرة عن طريق السلك •

لماذا يســتطيع المعدن المتوهج أن يبعث الكترونات ؟ هذا نتيجة للتركيب الداخلى الطبيعى للمعادن • فبعض الالكترونات فى المعادن مرتبطة ارتباطا ضعيفا بذراتها • مثل هذه الالكترونات « الحرة » يمكنها الحركة داخل المعدن من ذرة الى أخرى ، بينما يظل المعدن نفسه متعادلا ، أى غير مشحون • هذه الحركة العشوائية للالكترونات الحرة فى المعادن تجعلها موصلات جيدة للكهرباء (والحرارة) • فاذا ما وصلت قطعة من معدن أو سلك معدنى بمصدر قوة دافعة كهربائية ، تنجذب الالكترونات الى الطرف الموجب ويسرى تيار كهربائى فى المعدن • وهذا يعنى انه بالاضافة الى حــركة الالكترونات العشــوائية نتيجــة للاثارة الحرارية ، تشترك الالكترونات فى حركة منظمة نحو الطرف الموجب للمصدر •

وفى درجات الحرارة المنخفضة ، تكون طاقة الحركة العشــوائية للالكترونات قليلة ولا تستطيع ــ عمليا ــ مغادرة المعدن (باستثناء تلك الحالات التى تعبر فيها الالكترونات سطح المعدن الى الالكتروليت فى الخلية الجلفانية) • بينما تزيد طاقة الحركة العشوائية للالكترونات بالتسخين وتستطيع أسرعها أن تغادر المعدن خلال السطح •

وكلما خــرج الكترون ، خسر المعدن بالطبع الشــحنة الســالبة للالكترونات وأصبح موجبا بحيث يجذبه اليه ثانية كما لو كان يناضل لاستعادته ، فاذا أراد الالكترون أن يترك المعدن ، وجب عليه أن يتغلب على هذا الجذب ، أى يجب أن يقوم ببعض الشغل ، وهذا الشغل يعرف بدالة شغل الالكترون • ولهذا السبب يصل انبعاث الالكترونات الى قيمة ملحوظة فقط فى درجات الحرارة العالية ، عندما تكتسب كمية كافية

من الالكترونات الطاقة اللازمة لأداء هذا الشـــغل للتغلب على القوى الكهربائية التى تجذبها الى المعدن ثانية ٠

وتختلف قيمة دالة الشغل ــ التى تحدد درجة الحرارة المطلوبة للكاثود ــ من معدن الى معدن ، فهى عالية نسبيا للتنجستين النقى وهذا هو السبب فى ان شـعيرات الصمامات الأولى التى كانت مصنوعة من التنجستين كانت تسخن حتى البياض ، ولكن تنخفض دالة شـــغل التنجستين كثيرا باضافة الثوريوم اليه ، ولهذا تعمل الكاثودات المخلوطة بالثوريوم فى درجات حرارة أقل ٠ وكذلك أمكن تشغيل الكاثودات بدرجات حرارة أقل باضافة أكاسيد مختلفة وبالذات أكسيد الباريوم ٠ ولا تحتاج مثل هذه الكاثودات الى أن تسخن لدرجة الاحمرار ٠

ويسمى الصمام الالكترونى المكون من قطبين فقط ــ كاثود متوهج وأنود بارد ــ بالصمام ذى القطبين أو الصمام الثنائى ٠ فاذا اتصل الأنود بالكاثود فى الصمام الثنائى بسلك ، تعود الالكترونات المتطايرة من الكاثود الساخن اليه ثانية فى ذلك السلك بعد أن تصطدم بالأنود، أى يسرى تيار كهربائى فى ذلك السلك ، وهذا التيار يزيد بزيادة سطح الكاثود ونقص المسافة بين الكاثود والأنود ٠ وتتوقف شدة التيار بالاضافة الى حجم الكاثود ومادته ، على درجة حرارة الكاثود ٠ فكلما زادت درجة الحرارة زادت شدة انبعاث الالكترونات وزاد التيار ٠

ومع ذلك لا تصطدم جميع الالكترونات التى تغادر الكاثود بالأنود، بل يطير جزء كبير منها عشوائيا فى الفراغ بين الكاثود والأنود مكونا نوعا من « الشحنة الحيزية » وتمنع هذه الشحنة الحيزية السالبة الالكترونات الجديدة من مغادرة الكاثود ٠

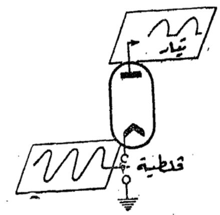
ولكن اذا زود الصمام الثنائى ببطارية كهربائية بحيث يتصل طرفها الموجب بالأنود والسالب بالكاثود ، تنجذب الالكترونات الى الأنود ويزيد تيار الأنود بشدة ، وتقل كثافة « الغاز الالكترونى » بين الكاثود والأنود وتنبعث كميات جديدة من الالكترونات بسخاء من الكاثود ، وتنجذب هــذه الالكترونات بدورها الى الأنـود المشـــحون بشحنة موجبة ٠

فاذا زادت فلطية البطارية يزيد التيار المار فى الصمام ، وتستمر هذه الزيادة الى أن تنجذب جميع الالكترونات المنبعثة من الكاثود الى الأنود، ويقال فى هذه الحالة ان الصمام قد « تشبع » ، فلا يزيد تيـار الأنود بزيادة فلطية البطارية بعد ذلك ٠

أما اذا وصلت البطارية بالصمام بحيث يكون طرفها الموجب متصلا بالكاثود والسالب بالأنود ، فان الالكترونات المنبعثة من الكاثود تتنافر مع الأنود المشحون بشحنة سالبة وتعود الى الكاثود ، وفى هذه الحالة لا يسرى أى تيار فى الصمام ٠

وبهذا نجد أن للصمام الثنائى تلك المقدرة الرائعة على امرار التيار فى اتجاه واحد فقط : من الكاثود الى الأنود ٠

وقد مهدت هذه الخاصية ــ التى اكتشفها اديسون ــ الطريق أمام ج ٠ فليمنج سنة ١٩٠٤ لاستخدام صمام ثنائى لتقويم التيار عالى التردد ولفصل الاشارات عن الذبذبات عالية التردد التى ولدتها الموجات اللاسلكية فى الدوائر المؤالفة لجهاز استقبال لاسلكى (شكل ٦) ٠

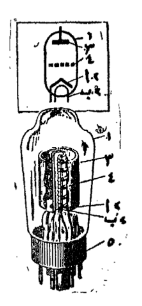


(شكل ٦) : يحول الصمام الثنائى التيار المتردد المسلط عليه الى تيار نابض فى اتجاه واحد ٠

وقد أظهرت الدراسة لخواص الصمام الثنائى أنه لا يستطيع تكبير الذبذبات الكهربائية ، اذ يجب لهذا الغرض أن يحتوى الصمام الالكترونى على قطب ثالث ، هو الشبكة ٠

وقد صنع هذا القطب ــ الذى يوضع بين الكاثود والأنود ــ أول ما صنع من شبكة معدنية دقيقة ، ومن هنا جاء الاسم (شكل ٧) ٠ أما الآن فتصنع شبكات الصمامات ذات القدرة المنخفضة عادة على شكل حلزون من السلك يلف بين الكاثود والأنود ، أما فى الصمامات ذات القدرة العالية فتصنع الشبكة اليوم على شكل شبكة حقيقية ٠

وتقوم الشبكة فى الصمام تقريبا بنفس وظيفة « جهاز التحكم »



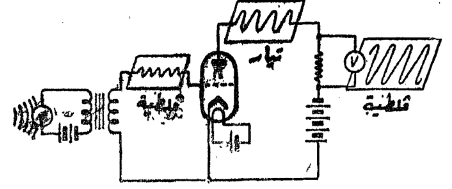
(شكل ٧) : الصمام ذو الأقطاب الثلاثة (الصمام الثلاثى)

(١) الغلاف (٢ أ) الكاثود

(٢ ب) المسخن (٣) الانود

(٤) الشبكة (٥) القاعدة ٠

الذى يديره السائق فى الترام ٠ فبادارة ذراع هذا الجهاز يبذل السائق مجهودا صغيرا كى يبذل الموتور قدرة كبيرة أو صغيرة ، وكذلك تعمل شبكة الصمام الثلاثى التى تسمى عادة شبكة التحكم فبالاستعانة بالشبكة تتحكم الذبذبات الكهربائية الضعيفة التى يولدها الميكروفون المتصل بها (مثلا) فى البطارية القوية المتصلة **بدائرة أنود الصمام (شكل ٨)** ٠



(شكل ٨) مكبر بصمام ثلاثى ٠ تتحكم الذبذبات الكهربائية الضـــعيفة الناتجة عن الميكروفون الموصل بين الشبكة والكاثود فى تيار أنود الصمام ٠ ويكون اتساع ذبذبات تيار الأنود أكبر بكثير من اتساع تيار الذبذبات فى دائرة الميكروفون ٠ وتتكون فلطية مترددة مكبرة عبر المقاومة الموصلة بدائرة الأنود ٠

وبما أن الشبكة موضـــوعة بين الكاثود والأنود ، فان جميع الالكترونات لابد وأن تمر بين لفات الشبكه وهى فى طريقها من الكاثود الى الأنود • فاذا لم تكن هناك شحنة كهربائية عليها ، فانها لا تؤثر على مرور الالكترونات خلالهـا وفى هذه الحـالة يعتمد تيار الأنود على تصميم الصمام وقيمة فلطية الأنود فقط ، أما اذا شحنت الشبكة بشحنة سالبة ، فان الالكترونات ــ المشحونة دائما بشحنة سالبة ــ تتنافر معها ولا يستطيع أبطؤها أن يصل الى الأنود اطلاقا بل يجبر على العودة الى سحابة « الغاز الالكترونى » المحيطة بالكاثود ، وينخفض بالطبع تيار الأنود • واذا كانت الشحنة السالبة على الشبكة كبيرة بحيث لا يتمكن أى الكترون من المرور خلالها الى الأنود ، فان تيار الأنود يتوقف ، وبالرغم من وجود شحنة موجبة عليه لا يمر تيار كهربائى فى الصمام ، وهنا يقال أن الصمام فى حالة « قطع » •

أما اذا وصلت فلطية موجبة بالشبكة ، فان تيار الأنود يزداد بزيادة فلطية الشبكة على أساس أن فلطية الأنود ثابتة ، وبذلك تندفع الالكترونات المنجذبة بالفلطية الموجبة على الشبكة خلالها بالقصور الذاتى وتصل الى الأنود بكميات أكبر مما لو كانت الشبكة متعادلة ، وهذا يزيد بالطبع من تيار الأنود ، وتستمر زيادة تيار الأنود بزيادة فلطية الشبكة الى أن تجعل الشبكة جميع الالكترونات المنبعثة من الكاثود تصل الى الأنود، ولا يزيد تيار الأنود بعد ذلك لأن الصـــمام يكون قد وصل الى حـالة التشبع •

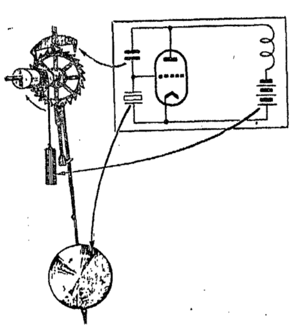
وقد مكن التأثير القوى لفلطية الشـــبكة من استخدام الصمام الالكترونى فى تكبير الذبذبات الكهربائية الضعيفة •

ولا يمكن استخدام الصمام ذو الأقطاب الثلاثة فى تكبير الذبذبات الكهربائية فحسب بل فى توليدها أيضا • وفى هذه الحالة ، يحول الصمام ــ الذى يكون موصلا بدائرة خاصة ــ طاقة مصدر التيار المستمر (البطارية مثلا) الى طاقة ذبذبات كهربائية •

ويسمى الجهاز الذى يولد ذبذبات كهربائيــة بالاســتعانة بصمام الكترونى « بالمذبذب الصمامى » • ويحتوى المذبذب الصمامى ــ علاوة على الصمام ــ على دائرة موالفة وما يسمى بدائرة التغذية المرتدة • فاذا كانت الدائرة الموالفة موصلة بدائرة الأنود ، فان جـزءا من الطـــاقة الموجودة فى هذه الدائرة تغذى ثانيــة شبكة الصـــمام ، ونتيجة لهذا

تتحكم الذبذبات فى الدائرة المولفة فى تيار أنود الصمام الذى يساعد ـ بدوره ـ على استمرار الذبذبات فى الدائرة المولفة (أو التذبذبية) .

وتشبه نظرية المذبذب الصمامى طريقة عمل آلية الساعة (شكل ٩) .



(شكل ٩) : المذبذب البلورى وآلية الساعة .

ففى الساعة ، يتصل البندول ـ الذى يحدد تردده سرعة الساعة ـ بالوزن المتحرك أو الزنبرك عن طريق آلية خاصة (مجموعة الرقاص) ومجموعة تروس . وتتكون مجموعة الرقاص من شوكة متأرجحة وترس سقاطة بأسنان ذات شكل خاص ، وبهذه الآلية يتحكم البندول فى سرعة الساعة ويتلقى ـ فى نفس الوقت ـ جزءا من طاقة الوزن للاستمرار فى التذبذب .

وكما أن طاقة الساعة تكون مختزنة فى الوزن المرفوع أو الزنبرك الملفوف ، فان طاقة المذبذب الصمامى تكون مختزنة فى بطارية الأنود . وفى المذبذب ، تتحكم الدائرة المولفة فى تردد التذبذب . أما فى الساعة فيقوم البندول بذلك ، اذ يحدد البندول بمساعدة الرقاص معدل انخفاض الوزن ، وفى المذبذب تتحكم الدائرة المولفة فى تيار بطارية الأنود بمساعدة الصمام الالكترونى . وفى كلتا الحالتين يستخدم جزء من الطاقة المختزنة فى الاحتفاظ بذبذبة « عضو التحكم » .

واذا أريد الحصـول على دقة عالية فى الساعة ، تتخذ احتياطات خاصة للاقلال من تأثير التغير فى درجة الحرارة والضغط فيصنع البندول من مواد لا تتغير أبعادها كثيرا بتغير درجة الحرارة ، وأحيانا توضع الساعات الدقيقة فى حجرات على عمق كبير من سطح الأرض حيث الحرارة ثابتة على مدار السنة ، كما توضع الساعات فى أغلفة خاصة لحمايتها من تغير الضغط الجوى ٠

وتتخذ اجراءات مشابهة فى المذبذبات الصمامية ، ففى المذبذبات الدقيقة ، تستبدل الدائرة الموالفة المعتادة ببلورة من الكوارتز تؤدى ـ من حيث العمل ـ نفس وظيفة الدائرة التذبذبية ، ولكن باستقرار أكبر ، فاذا أريد استقرار أكثر من ذلك توضع البلورة أحيانا فى وعاء مفرغ من الهواء ويحفظ فى جهاز ذى ثرموستات يحتفظ بدرجة حرارتها ثابتة أوتوماتيكيا ٠

والذبذبات المولدة فى المذبذب الصمامى لا تستطيع ارسـال أية اشارات بحالتها الطبيعية بأكثر ما يستطيع الضوء الثابت المنبعث من مصباح متوهج ٠ فاذا أريد ارسال اشارات بوساطة مصباح يجب أن يضاء ويطفأ طبقا لنظام شفرى خاص أو تغير شدة اضاءته أو توضع أمامه مرشحات ملونة لتغيير لون ضوئه ٠ وهذه العمليات التى تغير الاضـاءة المنظمة للمصـباح ما هى الا أمثلة لتشكيل (تغيير) الفيض الضوئى للمصباح الذى يمكن بوساطته نقل الاشارات ٠

وينطبق هذا على ارسال الاشارات باللاسلكى ، فاذا أرسلت محطة لاسلكية ما موجات لاسلكية غير متقطعة ذات تردد وشدة ثابتين فان المستمع لا يستطيع أن يعرف الا ما اذا كانت المحطة عاملة أم لا ، أما اذا أريد ارسال اشارات ، فيجب احداث اضطراب بطريقة ما فى التشغيل المنتظم للمحطة ٠ وهناك طرق متعددة لهذا ، فمثلا يمكن ايقاف المحطة وتشغيلها لفترات تناظر النقط والشرط المستخدمة فى شفرة مورس ٠

كما يمكن تغيير شـدة الاشارة فقط بدون ايقـاف المحطة بحيث تتبع هذه التغيرات نمطا معينا ، وتسمى هذه الطريقة بطريقة « تشكيل الاتساع » حيث ان اتساع (شدة) الموجات اللاسلكية هو الذى يتشكل (يتغير) ٠ وأخيرا يمكن تغيير تردد الذبذبات التى تشعها المحطـة ، وتسمى هذه الطريقة « تشكيل التردد » وتناظر تغيير اللون فى المثال البصرى المذكور سابقا ٠

وقد اخترع المذبذب الصمامى المستخدم فى توليد ذبذبات غير متضائلة فى عدد من البلاد فى وقت واحد تقريبا (سنة ١٩١٣) ، ولكن تعطى الأسبقية فى هذا للعالم الألمانى هـ ٠ موللر ٠ كما بلور العالمان الألمانيان هـ ٠ باركهاوزن و هـ ٠ موللر والعالم الامريكى د ٠ س ٠ برينس والعلماء السوفيت م ٠ ف ٠ شوليكين و أ ٠ ى ٠ برج و أ٠م٠ أندرونوف وأ٠ل٠ مينتز وى٠ج٠ كلياتسكين نظرية المذبذبات الصمامية٠

ويعود الفضل بصفة خاصة للعالم السوفيتى م ٠ أ ٠ بونش ـ برويفتش فى تطوير صمامات الارسال القوية ، ففى سنة ١٩٢٠ ، صمم بونش ـ برويفتش ـ الذى انتخب بعد ذلك عضوا مراسلا فى أكاديمية العلوم فى الاتحاد السوفيتى ـ صمام ارسال وصلت قدرته الى أكثر من كيلوا وات واحد ٠ وكان أنود هذا الصمام يبرد بالماء الجارى ٠ وفى سنة ١٩٢٥ عرض بونش ـ برويفتش فى معرض الاتحاد اللاسلكى فى موسكو صمام ارسال قدرته ١٠٠ كيلو وات ٠ وجدير بالذكر أن معارض اللاسلكى الأوربية عرضت فى نفس العام لأول مرة نماذج معملية لصمام من تصميم ماركونى قدرته ٢٠ كيلووات صنعته مصانع فيليبس فى هولندا ٠ وفى نفس الوقت لم يكن هناك انتاج لصمامات قوية لا فى أوروبا ولا فى أمريكا ، اذ واجه المصممون صعوبات كبيرة فى محاولاتهم لزيادة قدرة الصمامات المفرغة ٠

وقد حل الأكاديمى أ ٠ ل مينتز مشكلة زيادة خرج المحطات اللاسلكية مع استخدام الصمامات الموجودة بالفعل ، اذ ابتكر طريقة التوصيل الجماعى واستخدمها سنة ١٩٣٣ فى انشاء احدى المحطات اللاسلكية ٠ فقد وجد طريقة لتشغيل عدة صمامات من نفس النوع معا لانتاج موجات لاسلكية ذات قدرات كبيرة ، ثم استخدمت طريقة مشابهة بعد ذلك فى الولايات المتحدة ، وقد صممت عدة محطات لاسلكية قوية ونفذت تحت اشراف أ ٠ مينتز بما فيها محطة بلغت قدرتها ١٢٠٠ كيلو وات بدأت ارسالها أثناء الحرب العالمية الثانية ، وقد صممت أيضا صمامات الارسال وطورت تحت ارشاده ٠

وقد قام أ ٠ مينتز بأعمال هامة فى ميدان استخدام الهندسة اللاسلكية فى الأبحاث الخاصة بتسارع الدقائق المشحونة ، وقد كان بالذات واحدا من قادة المجموعة التى قامت بتصميم وتطوير أكبر سينكروسايكلوترون فى العالم ، والذى مكن من الحصول على دقائق ذات طاقة بلغت ١٠٠٠٠ مليون الكترون فولط ، كما قام مينتز أيضا بأعمال

كبيرة فى ميادين الهندسة اللاسلكية الأخرى • وقد منح ميدالية بوبوف الذهبية سنة ١٩٥٠ لأعماله الباهرة •

وفى سنة ١٩٥١ منح هذه الجائزة الأكاديمى أ•ى• برج الذى تركزت أعماله حول نظريات المذبذبات الصمامية وحساباتها وكذلك استقرار التردد والتشكيل والاستقبال اللاسلكى وتحديد الاتجاهات باللاسلكى وميادين أخرى من ميادين الهندسة اللاسلكية •

وتستطيع المذبذبات الصمامية التى تستخدم الصمامات الثلاثية أن تعمل فى مدى كبير من الموجات ، من أطولها الى الموجات السنتيمترية • وبالطبع لا يتوقف تصميم الصمام على قدرته فقط بل أيضا على مدى الترددات الذى يعمل فيه •

ومع ذلك لا يصلح الصمام الثلاثى لتوليد ذبذبات قوية فى المدى الديسيمترى ، ناهيك عن الموجات الأقصر •

والسبب فى ذلك ان مدة الذبذبة فى هذا المدى تقارب زمن انتقال الالكترونات من الكاثود الى الشبكة ، ونتيجة لهذا يضطرب الفعل المتبادل بين الذبذبات الكهربائية المسلطة على الشبكة والالكترونات ، وتفقد الشبكة قدرتها على التحكم فى تيار الالكترونات بدون استهلاك طاقة كبيرة ، ويفقد الصمام قدرته على تكبير الذبذبات • وسنروى قصة التغلب على هذه الصعوبة فى الفصل الذى سنصف فيه الصمامات الالكترونية الحديثة المستخدمة الآن فى محطات الرادار •

امتداد الموجات اللاسلكية

يعتبر هوائى محطة الارسال اللاسلكى أداة لتحويل طاقة الذبذبات عالية التردد الى طاقة موجات مغناطيسية كهربائية • وتنتشر هذه الموجات عادة من الهوائى فى جميع الاتجاهات ، انتشار الضوء من فانوس ضخم• وتستحث الموجات اللاسلكية فى انتقالها على سطح الأرض ذبذبات كهربائية فى جميع الأجسام القادرة على توصيل الكهرباء • وتستهلك طاقة هذه الموجات تدريجيا فى حث هذه الذبذبات والاحتفاظ بها •

ولا تستهلك طاقة الموجات اللاسلكية فى حث تيارات كهربائية فى الأجسام المعدنية فحسب بل يفقد جزء كبير منها فى الأرض ، ذلك لأن الأرض ليست عازلا مثاليا ، وعلى الرغم من أن التيارات المستحثة فى المتر

المربع من سطح الأرض صغيرة ، فان مجموع المفقودات يصل الى جزء كبير من الطاقة المشعة ٠

وهذا هو السبب في أن مسافة امتداد الموجات الطويلة والمتوسطة (وسنتناول الموجات القصيرة فيما بعد) لا تعتمد على قدرة المحطة اللاسلكية فحسب بل تعتمد أيضا على حالة التربة ٠ فمثلا عندما تتجمد الأرض وتغطى بالثلج فى الشتاء ، تكون موصلا أردأ مما فى الصيف ، ونتيجة لهذا تكون التيارات التى يستحثها هوائى المحطة اللاسلكية فى الأرض صغيرة ولذلك فان محطات الموجات الطويلة والمتوسطة تسمع فى الشتاء على مسافات أبعد وصوت أعلى مما يحدث فى الصيف ٠

وهنا يبدو من المناسب أن نطرح السؤال التالى : اذا كانت الموجات اللاسلكية تمتد بطريقة تشبه طريقة امتداد الضوء المرئى ، فكيف يمكن الاتصال اللاسلكى على مسافات بعيدة ؟ وكيف « تنحنى » الموجات اللاسلكية حول الكرة الأرضية ؟

ولكن يجب قبل القاء الضوء على هذا الموضوع أن نذكر عاملا آخر له دور كبير فى الاتصالات اللاسلكية ، هذا العامل هو أن قوة استقبال المحطات اللاسلكية ومداها لا تعتمد على الفصل من السنة وحالة التربة فقط ، فكل مستمع للاذاعات يعرف جيدا أن محطات الموجات الطويلة والمتوسطة تسمع بعد الغروب وحتى نهاية الليل أقوى مما تسمع بالنهار، كما يمكن استقبال عدد كبير جدا من المحطات بالليل لا يمكن الاستماع اليه بالنهار اطلاقا ٠

لماذا يؤثر الوقت من اليوم على الاستقبال اللاسلكى ؟ من الطبيعى أن ترتبط هذه الظاهرة بالشمس ، وقد أظهرت الملاحظات أن الشمس تسبب تدهورا فى الاستقبال اللاسلكى ، كما وجد أن الاستقبال يتحسن فى أوقات كسوف الشمس حتى أنه يصل فى لحظة الكسوف الكلى الى نفس درجة جودته بالليل ٠

نحن لا نستقبل من الشمس أشعة الضوء المرئى فقط ، بل تبعث الشمس بالاضافة اليها كمية كبيرة من أشعة غير مرئية ذات طبيعة تشبه طبيعة الموجات اللاسلكية والضوء ، هذه الموجات هى موجات مغناطيسية كهربائية ولكن موجتها أقصر من أقصر موجة فى الضوء المرئى ، وتعرف بالأشعة فوق البنفسجية ٠

وللأشعة فوق البنفسجية طاقة عظيمة كما أنها نشطة جدا ، وهى التى تسبب اسمرار الجلد عند تعرضه لضوء الشمس كما أنها قادرة على

قتل بعض الكائنات الحية الدقيقة وتحوير ألوان بعض الأصباغ والطلاء .. الخ . وهي تدمر ذرات الغازات المكونة للهواء ، اذ تجبر الالكترونات على مغادرة الذات مما يجعل الذرات المتعادلة عادة تحمل شحنة موجبة . وتسمى الذرات المشحونة أيونات .

وكما نعرف جميعا ، تتكون كل ذرة من نواة تدور حولها الالكترونات، وتحمل الالكترونات شحنة سالبة بينما تحمل النواة شحنة موجبة تساوى مجموع شحنات الالكترونات التى تدور حولها . وتعادل الشحنة السالبة للالكترونات الشحنة الموجبة للنواة مما يفقد الذرة ككل أية شحنة كهربائية ، أو بعبارة أخرى يجعلها متعادلة .

فاذا ما تسببت الأشعة فوق البنفسجية فى أن تفقد الذرة الكترونا أو أكثر من الكتروناتها ، لا تعادل الالكترونات المتبقية شحنة النواة الموجبة . وبهذا تظهر شحنة موجبة على الذرة ، وهذا يعنى أن الذرة قد أصبحت أيونا موجبا .

وبالاضافة الى الضوء المرئى والأشعة فوق البنفسجية ، تبعث الشمس فيضا من الدقائق الصغيرة مثل الالكترونات والبروتونات (نويات ذرة الايدروجين) ودقائق أخرى تنتقل فى الفضاء بسرعات عالية . وعندما تصطدم هذه الدقائق بذرات الغازات فى طبقات الجو العليا ، تحول هذه الدقائق أيضا جزءا من الذرات الى أيونات (★) ونتيجة لهذا نجد أن طبقات جو الأرض العليا مشبعة بالأيونات والالكترونات الحرة .

وقد افترض العالم الفيزيائى الانجليزى « أوليفر هيفيسايد » والمهندس الأمريكى « آرثر كينيللى » فى سنة ١٩٠٢ أن الجزء العلوى من جو الأرض يحتوى على منطقة متأينة (الأيونوسفير) ، وكان أساس هذا الفرض هو أن الموجات اللاسلكية تمتد الى مسافات كبيرة وراء الأفق ، وطبقا للفرض « كينيللى وهيفيسايد » ـ الذى تحقق بعد ذلك بالمشاهدة العملية ـ فان الأيونوسفير يجعل الموجات اللاسلكية تسير فى مسار منحن يدور حول سطح الأرض .

(★) تبعث الشمس بالأشعة تحت الحمراء (الحرارية) أيضا ، وموجة هذه الأشعة أطول من موجة الضوء المرئى . ولقد ثبت أن هذه الأشعة ذات الموجات المغناطيسية الكهربائية الأطول من الضوء لا تختلف عن الموجات اللاسلكية ، كما يمكن ـ فى ظروف خاصة ـ استقبالها بأجهزة الاستقبال اللاسلكية حيث تتداخل مع الاستقبال المعتاد . ولكن هذا الجزء من اشعاعات الشمس لا يستطيع أن يؤين ذرات الهواء ولذلك فهو لا يؤثر على امتداد الموجات اللاسلكية المرسلة من محطات لاسلكية على الأرض .

وقد أظهرت المشاهدات أن الأيونوسفير ليس وسطا متجانسا وأن خواصه تتغير باستمرار ، ويمكن تقسيم الأيونوسفير الى ثلاث طبقات متميزة تفصلها مناطق منخفضة التأين : الأولى منها على ارتفاع حوالى ٨٠ كيلومترا والثانية على ارتفاع حوالى ٢٠٠ كيلومترا والثالثة على ارتفاع حوالى ٤٠٠ كيلو مترا • ويلاحظ أحيانا وجود طبقات أخرى ولكن تأثيرها على الاستقبال اللاسلكى صغير نسبيا فى الظروف العادية • ويرتبط تكوين الأيونوسفير ارتباطا وثيقا بالنشاط الشمسي ، اذ يتجدد تكوين الأيونات الموجبة والالكترونات الحرة فى الايونوسفير باستمرار نتيجة لفعل الاشعاعات الشمسية كما ذكر من قبل ، وتتحد بعض هذه الأيونات والالكترونات ثانية بالاصطدام فى أثناء حركتها العشوائية مكونة ذرات متعادلة • وكلما زاد عدد الذرات المدمرة زاد معدل الاصطدام بين الايونات المتكونة حديثا والالكترونات • وفى النهاية تصل هاتان العمليتان المتضادتان : التدمير والتجديد الى حالة اتزان لا يحدث بعدها تغيير يذكر فى الأيونوسفير •

لا يتعرض الغلاف الجوى للاشعاعات الشمسية فى الليل ، فتتوقف عملية التأين ولكن تستمر عملية انضمام الالكترونات الى الأيونات لتصبح ذرات • ولهذا يقل عدد الأيونات والالكترونات الحرة ، ويزيد معدل هذا النقص بزيادة كثافة الغلاف الجوى ، لأن تصادم الأيونات والالكترونات يزيد فى الطبقات الكثيفة من الجو عليه فى الطبقات المتخلخلة • ولهذا السبب تختفى الطبقة المتأينة التى على ارتفاع ٨٠ كيلو مترا تماما بالليل بينما تظل الطبقتان العلويتان موجودتين ليلا ونهارا ولكن يقل عدد الأيونات والالكترونات الحرة فيهما بالطبع عنه فى النهار ، وتفسر هذه التغيرات التى تحدث فى الأيونوسفير حالة الاستقبال اللاسلكى •

كيف تؤثر حالة الطبقات العليا من الجو على الاستقبال اللاسلكى ؟ الواقع أن الغازات المشبعة بالأيونات والالكترونات الحرة تكتسب خواص جديدة تختلف تماما عن خواص الهواء العادى ، فتصبح موصلة للكهرباء ، ونحن نعرف أن الموصلات تستطيع أن تعكس الموجات المغناطيسية الكهربائية، لهذا تنعكس الموجات اللاسلكية من الأيونوسفير كما يفعل الضوء المرئى مع المرآة ، وبهذه الطريقة يدور حول الأرض • وهذا يجعل الاستقبال اللاسلكى على مسافات بعيدة أقوى بكثير منه لو لم يكن الأيونوسفير موجودا • وفى نفس الوقت تتحرك الالكترونات الحرة فى الأيونوسفير بفعل الموجات اللاسلكية وتمتص بهذا جزءا من طاقتها • وعندما تصطدم هذه الالكترونات المتحركة بذرات الغاز تعطيها هذه الطاقة • وبهذا يفقد جزء من طاقة الموجات اللاسلكية فقدانا نهائيا فى الأيونوسفير •

ويحدث أكبر امتصاص للموجات اللاسلكية الطويلة والمتوسطة فى الجزء الأسفل من الأيونوسفير الموجود على ارتفاع أقل من مائة كيلومتر ٠ وبعد الغروب ـ عندما تختفى الطبقات السفلى من الأيونوسفير ـ يقل امتصاص الموجات اللاسلكية بشدة مما يزيد من مدى الاستقبال اللاسلكى على الموجات الطويلة والمتوسطة كما يزداد وضوحها ٠

وقد استخدمت محطات الاذاعة اللاسلكية الأولى الموجات الطويلة التى كانت تتراوح فى طولها بين كيلو متر واحد وثلاثة كيلو مترات ، ولكن بازدياد عدد المحطات ، استخدمت الموجات الأقصر ، وقد وجد أن مدى استماع هذه الموجات الأقصر ـ المعروفة الآن بالموجات المتوسطة ـ يتغير على مدار اليوم بدرجة أكبر من الموجات الطويلة ، ففى النهار لم تكن المحطات اللاسلكية العاملة على هذه الموجات تسمع الا على مسافات أقصر نسبيا ٠

وقد أظهرت المشاهدات بعد ذلك أن الموجات التى يبلغ طولها حوالى ٢٠٠ متر تمتص فى الأيونوسفير بدرجة لا تجعلها صالحة للاتصالات البعيدة أو الاذاعة ، بينما الموجات الأقصر تمتص بدرجة أقل من الأيونوسفير لكنها تمتص بدرجة كبيرة فى سطح الأرض ٠ ولهذا السبب اعتبرت هذه الموجات فى بداية عهد اللاسلكى غير صالحة اطلاقا للارسال الى مسافات بعيدة ٠ وقد أعطيت هذه الموجات « غير النافعة » لهواة اللاسلكى ٠

ويمكنك أن تتصور ـ أيها القارىء ـ مدى دهشة مهندسى الراديو وعلماء الفيزياء عندما بدأت التقارير ترد مشيرة الى أن الهواة قد تمكنوا بأجهزة الارسال منخفضة القدرة التى كانوا يصنعونها بأيديهم ـ من الاتصال ببعضهم البعض على هذه الموجات «غير النافعة» الى مسافات بلغت الآلاف بل عشرات الآلاف من الكيلو مترات ٠

ولقد شك الخبراء فى البداية فى صحة هذه التقارير ، فقد كانوا فى ذلك الوقت مؤمنين تماما بنتائج التجارب التى كانت تؤكد أنه كلما قصر طول الموجة زاد امتصاصها فى الأرض وبالتالى يجب أن يكون مدى المحطة العاملة على الموجة القصيرة أقل من مدى محطة الموجة الطويلة بفرض أن قدرة المحطتين واحدة ٠

ومع ذلك فقد أظهر البحث أن هواة اللاسلكى كانوا صادقين : فقد كان من الممكن الاستماع الى محطات الموجة القصيرة ذات القدرة المنخفضة على مسافات عدة آلاف من الكيلومترات ، وفى نفس الوقت كان مهندسو اللاسلكى أيضا على حق ، فان الأرض تمتص الموجات القصيرة بدرجة

أكبر بكثير من الموجات الطويلة ، فكيف يمكن التوفيق بين هاتين الحقيقتين المتضادتين ؟ ٠

لقد اتضح بعد ذلك أن الموجات القصــيرة تمتص بدرجة أقل فى الأيونوسفير ولهذا يمكن أن تنعكس منه عدة مرات بدون توهين كبير ، وكنتيجة لهذا يمكن أن تستقبل هذه الموجات على أبعد مسافات ممكنة ٠ ولكن شدة الاستقبال تعتمد على حالة الأيونوسفير اعتمادا كبيرا ، وبالتالى تتغير تغيرا كبيرا على مدار اليوم ٠

وسنتناول انتشار الموجات المترية فى الفصل الخاص بالتليفزيون الذى يعتبر الآن الميــدان الرئيسى لاســتخدامها ، وتســتخدم المــوجات الديسمترية والسنتيمترية والملليمترية غالبا فى الرادار ومختلف الأبحاث العلمية ولهذا سنتناولها فى الفصول المناسبة ٠

وقد أجريت الأبحــاث الأساسية على امتداد الموجات اللاسلكية فى ألمانيا على يدى آرنولد سومرفيلد وهـ ٠ فيل وفى هولندا على يدى ب ٠ فان دربول وهـ ٠ بريمر وفى الولايات المتحدة على يدى جون وللنجر وفى الهند على يدى س ٠ ك ٠ ميترا وفى انجلترا على يدى ى ٠ ف ٠ آبلتون وفى الاتحاد السوفيتى على يدى م ٠ ف ٠شوليكين وم ٠ أ ٠ بونش ـ برويفتش و ب ٠ أ ٠ فيدنسكى وم٠أ٠ لينتوفيتش وف٠أ٠ فوك ون ٠أ٠ شوكين وآخرين ٠

التليفزيون

تطورت الاذاعة اللاسلكية تطورا سريعا حيث انقضت ســتون عاما فقط منذ اختراع الراديو ، كما وأن الارسال الاذاعى بدأ منذ حوالى ثلاثين عاما ، ومع ذلك فهناك الكثير من محطات الاذاعة فى الاتحاد السوفيتى وكذلك الملايين من أجهزة الراديو وتركيبات الاذاعة السلكية ٠

ولعله من الغريب أن نعــرف أن ارســال الصور المتحركة بالراديو (أى التليفزيون) قد سبق كثيرا ارسال الصوت ، ففى سنة ١٨٨٤ ، أى قبل اختراع اللاسلكى بعشر سنوات ، اقترح المهندس تيبكوف طريقة لارسال الصور الى مسافات بعيدة ، وفى سنة ١٩٠٧ حصل العالم الروسى ب ٠ ل ٠ روزنج على براءة اختراع لنوع من التليفزيون يشترك فى كثير من سماته مع جهاز الاستقبال التليفزيونى الحديث ٠

ولم يكن ب ٠ ل ٠ روزنج أول من استخدم أنبوب أشعة الكاثود فى التليفزيون فحسب ، بل كان أيضا أول من ارتقى بفــكرة اختزان الشحنات فيه ٠

ومع ذلك لم يدخل التليفزيون فى الحياة اليومية للجماهير الا فى العقد الأخير فقط ، وقد كان ذلك نتيجة للصعوبات الفنية الكبيرة التى واجهها التليفزيون ٠

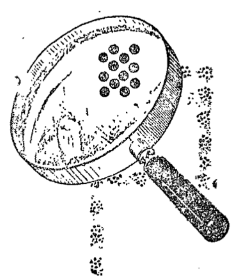
وقد تم الآن التغلب على معظم هذه الصعوبات ، ولكن مازال بعضها يقلق مضجع العلماء والمهندسين الى يومنا هذا ٠

وسنشرح فى هذا الفصل أساسيات التليفزيون وتصميم أجهــزة التليفزيون الحديثة ٠٠

صورة من نقط

اذا دققت النظر فى أية صـورة فى صحيفة يومية ترى أنها مكونة من عدد ضخم من النقط الصغيرة ٠

وترتيب هذه النقط لا يعتمد على محتويات الصورة ، وكذلك المسافة بين النقط لا تتغير فى أية منطقة من الصورة ٠ ويسمى مثل هذا الترتيب للنقط تكوين الصورة (شكل ١٠) ٠



(شكل ١٠) : تكوين من النقط مرتب بنظام صارم ٠

وبالرغم من أن نقط التكوين تكون مرتبة بنظام دقيق صـارم ، الا أنه يمكن نقل أية صورة بوساطتها ، ذلك لأن نقط التكوين تختلف فى حجمها ، فبعضها صغير حتى انه لا يرى نهائيا والآخر كبير بحيث يتداخل مكونا منطقة سوداء تماما ، وعندما ينظر الانسان الى صورة فى صحيفة يومية ، لا تميز العين عادة النقط المنفصلة فى التكوين ، بل تكون هذه النقط منظرا عاما مشتركا ، أى صورة متكاملة ، بحيث تمر خطوطها تدريجيا من الأبيض الى الأسود مارة بالدرجات المختلفة للون الأسود ٠

وكلما زاد عدد النقط الموجـودة فى السنتيمتر المربع من التكوين زادت جودة الصـورة وتفاصيلها وأصبحت الدرجـات الوسطى للون الأسود أعمق ٠

وتستخدم أخشن أنواع التكوين فى ألواح الاعلانات المضيئة التى تتكون من مئات من المصابيح الكهربائية العادية مرتبة فى صفوف منتظمة · وتضىء بعض هذه المصابيح بوساطة مفاتيح كهربائية خاصة بحيث تكون حروفا أو كلمات ، ويمكن ـ بوساطة هذه المفاتيح ـ أن نجعل هذه الصور تتحرك ·

وينظم عمل المفاتيح بحيث تتحرك الحروف المضيئة من اليمين الى اليسار(★) ، وتختفى عند نهاية اللوحة بينما تظهر حروف جديدة ـ مكونة كلمات جديدة ـ عند الحافة اليمنى وتتبع الأولى ، وبالطبع تظل المصابيح ساكنة بينما تضىء المفاتيح الكهربائية بعضها وتطفىء البعض الآخر حسب الحاجة (★★) ، ولكننا نحصل على الاحساس بالحركة لأن العين تحتفظ بأية صورة لمدة $\frac{١}{٨}$ ثانية تقريبا بعد اختفائها · وتسمى هذه الخاصية للعين بمداومة الرؤية ·

وتستغل السينما خاصية مداومة الرؤية لخلق الاحساس بالصور المتحركة · فيحتوى الفيلم على كمية كبيرة جدا من الصور المنفصلة تسمى أطرا (واحدتها اطار) مصورة بمعدل ٢٤ صورة فى الثانية ، وكل اطار عبار عن صورة لحظية تظهر الجسم المتحرك فى وضع جديد يختلف قليلا عن سابقه ·

وتعرض هذه الأطر على شاشة دار السينما بنفس السرعة التى صورت بها ، أى بمعدل ٢٤ اطارا فى الثانية ، فقبل أن يتلاشى الاحساس بأحد هذه الأطر من العين يكون الاطار التالى قد أضيف اليه ، وبهذا تتداخل الصور المنفصلة فى أعيننا وتخلق الاحساس بالحركة المستمرة ·

وتعتبر لوحة الاعلانات الكهربائية مثالا لأبسط الوسائل الكهربائية لانتاج الصور · وهى وسيلة لنقل الصور الى مسافة بعيدة ، لأن المفتاح الذى يتحكم فى تشغيل اللوحة موضوع داخل المبنى ، وتنقل الأسلاك اشاراته الى اللوحة خارج المبنى ، ويمكن لمفتاح واحد أن يتحكم فى عدة لوحات توضع فى أماكن مختلفة ، ويمكن ـ اذا لزم الأمر ـ أن نجعل اللوحة ترسم صورا بسيطة ·

(★) هذا بالنسبة للحروف اللاتينية · أما بالعربية فيجب أن تتحرك من اليسار لليمين ـ (المترجم) ·

(★★) هناك لوحة من هذا النوع على سطح صحيفة أزفستيا فى ميدان بوشكين بموسكو تعمل منذ عدة سنوات ·

هذا واحد من أبسط وسائل نقل الصور المتحركة الى مسافة بعيدة، ويمكن أن يظن المرء أن النقل الكهربائى للصور لا يحتاج لأكثر من هذا ، وهذا حق من حيث المبدأ ، ولكن يصاحب التنفيذ العملى لمثل هذه الطريقة فى التليفزيون صعوبات لا يمكن التغلب عليها ، فزيادة نقط تكوين الصورة تعنى زيادة عدد الأسلاك لأنه يجب توصيل كل مصباح على شاشة جهاز الاستقبال بسلك مستقل ٠

وقد تغلب المخترع الانجليزى ج ٠ ل ٠ بيرد على هذه الصعوبة بابتكار طريقة جديدة للتليفزيون سنة ١٩٢٦ ، اذ اقترح اضاءة مصابيح الصورة الواحد تلو الآخر لمدة قصيرة جدا بدلا من اضاءتها جميعا فى وقت واحد ، وبذلك يتصل كل مصباح بدوره على حدة بالمصدر ، وبهذا يمكن توصيل الشاشة بجهاز الارسال بزوج واحد من الأسلاك ٠

وبذلك تخلص بيرد من صعوبة تعدد الأسلاك ، ولكن ليواجه صعوبة أخرى ، فبالرغم من أن تلك الشاشة كانت تحتوى على ٢١٠٠ مصباح فقط ; أى أن تكوين الصورة كان يحتوى على ٢١٠٠ نقطة فقط) وكان عدد الأطر ١٢٫٥ اطارا فى الثانية فقط ، فقد كان على المفتاح الكهربائى أن يقوم بعدد من التوصيلات فى الثانية قدره ٢١٠٠ × ١٢٫٥ = ٢٦٢٥٠. وبهذا كان على بيرد أن يستخدم مفتاحا معقدا جدا حتى أن تشغيله لم يكن مما يعتمد عليه بأى حال ٠

وكان هذا سببا فى ارتفاع تكاليف طريقة بيرد مما جعلها غير صالحة للتليفزيون ٠ وفى الواقع كان مسرح منوعات الكوليزيوم فى لندن هو المكان الوحيد تقريبا الذى استخدم فيه هذا الجهاز كاحدى نمر الاستعراض ، وبعد ذلك قام جهاز مشابه بجولة فى المدن الأوربية الكبرى ٠

وقد فشلت جميع المحاولات لتحسين هذه الطريقة ، وأصبح من المؤكد استحالة الحصول على تليفزيون عالى الجودة بوسائل ميكانيكية ، أى باستخدام المفاتيح الكهربائية المعتادة ٠ وقد توصل كثير من المهندسين منذ ذلك الحين ــ فى ضوء أعمال العالم الروسى روزنج ــ الى أن الوسائل الميكانيكية لم تكن الا عثرة فى طريق تطوير التليفزيون ٠

الفسيفساء العجيبة

اقترح العالم السوفيتي س . ى . كاتاييف فى سنة ١٩٣١ طريقة عملية لاستخدام ظاهرة اختزان الشحنات فى أنبوب ارسال ذى أشعة كاثود . وقد مكن هذا من زيادة حساسية جهاز الارسال التليفزيونى عدة آلاف المرات ، ويمكن اعتبار هذه الطريقة نقطة التحول التى أمكن بعدها تنفيذ فكرة التليفزيون عالى الجودة .

ويمثل جهاز الارسال فى النظم الحديثة للتليفزيون زواجا سعيدا بين الخلية الضوئية وأنبوب أشعة الكاثود .

والخلية الضوئية أداة خاصة يمكنها تحويل التغيرات فى شدة الضوء الساقط عليها الى ذبذبات كهربائية كما يحول ميكروفون التليفون الصوت الى ذبذبات كهربائية ، وهناك الآن كثير من أنواع الخلايا الضوئية . ويعتمد عمل الخلية الضوئية على مقدرة الضوء على قذف الالكترونات خارج الأجسام التى يسقط عليها .

وقد قام العالمان الفيزيائيان أ . ستوليتوف وأ . أينشتين بالدور الرئيسى فى تحقيق هذه الظاهرة الكهربائية الضوئية .

ويعتمد التليفزيون أساسا على القانون الرئيسى للتأثير الضوئى ، وطبقا لهذا القانون يتناسب عدد الالكترونات المنقذفة بوساطة الضوء ، أى قيمة التيار الكهربائى الضوئى طرديا مع شدة الضوء الساقط على الخلية الضوئية ، فكلما زادت شدة الضوء زاد التيار والعكس بالعكس .

وتعتبر الخلية الضوئية المفرغة واحدة من أكثر أنواع الخلايا الضوئية شيوعا ، وتسمى هكذا لأن أقطابها موضوعة فى فراغ ، أى فى مكان قد فرغ منه الهواء تماما .

والمادة الفعالة التى تتعرض للضوء فى مثل هذه الخلايا الضوئية هى عادة السيزيوم . وعندما يضاء سطح السيزيوم ، تنقذف منه الالكترونات ، ولهذا تسمى طبقة السيزيوم كاثود الخلية الضوئية بالقياس على صمام الراديو . ويحتوى غلاف الخلية الضوئية ـ بالاضافة الى الكاثود ـ على قطب ثان يسمى الأنود ، ويصنع الأنود عادة على شكل أنشوطة صغيرة من السلك توضع فى مركز الغلاف ، وتخرج الأسلاك الموصلة الى الكاثود والأنود الى خارج الغلاف الزجاجى .

ولتشغيل الخلية الضوئية ، يوصل الأنود بالقطب الموجب فى منبع التغذية الكهربائية والكاثود بالقطب السالب . فاذا لم يكن هناك ضوء

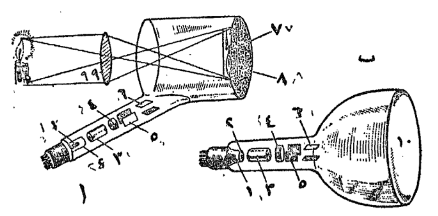
ساقط على الخلية الضوئية لا يمر تيار فى الدائرة المكونة منها ومن منبع التغذية . أما اذا سقط ضوء على طبقة السيزيوم ، فان بعض الالكترونات تترك كاثود الخلية الضوئية وتطير الى الأنود بفعل الفلطية الموجبة المسلطة عليه ، فيمر تيار كهربائى فى الدائرة . وتتناسب شدة هذا التيار مع شدة الضوء الساقط على الخلية الضوئية ، ويتبع التيار المار فى الخلية الضوئية كل التغيرات التى تحدث فى شدة الضوء ، تماما كما يتبع التيار المار فى الميكروفون كل التغيرات فى الصوت الساقط عليه ، ويشبه غلاف الخلية الضوئية العادية غلاف المصباح المتوهج .

وأنبوب كاميرا التليفزيون أعقد بكثير من ذلك ولكنه مبنى أيضا على تطبيق التأثير الكهربائى الضوئى . ويصنع أنبوب الكاميرا ذو الشحنة المختزنة على شكل بصيلة رقيقة من الزجاج ذات رقبة اسطوانية طويلة رفيعة ، ويحتوى الجزء المتسع على العنصر الرئيسى فى الأنبوب ، ذلك الذى يسمى الفسيفساء والذى يعمل ككاثود لهذه الخلية الضوئية المعقدة .

ويصنع الكاثود الضوئى ذو الفسيفساء من لوح رقيق من الميكا ناعم تماما ومتجانس ، ويغطى أحد جانبيه بطبقة رقيقة من معدن بينما يغطى الآخر — وهو الجانب الفعال من لوح الميكا — بما يزيد على مليون كرية ميكروسكوبية من الفضة المشبعة بالسيزيوم ، وتمثل هذه الكريات التى تزيد على المليون أكثر من مليون خلية ضوئية دقيقة مستقلة تصنع فى مجموعها تكوينا دقيقا للصورة . وهذه الكريات الفضية هى الكاثودات بالنسبة لهذه الخلايا الضوئية المستقلة ، بينما تكون الطبقة المعدنية التى تغطى السطح الداخلى للبصيلة الزجاجية أنودا مشتركا لها وتغطى هذه الطبقة المعدنية السطح الداخلى للبصيلة بأكمله بحيث لا تترك سوى نافذة واحدة يسقط خلالها ضوء الصورة المراد ارسالها على الفسيفساء (شكل ١١) .

وتستقبل الخلايا الضوئية المنفصلة المكونة لنقط هذه الفسيفساء الضوء الذى يسقط عليها من نقط الصورة المختلفة ، حيث تعكس الأجزاء المعتمة منها ضوءا أقل مما تفعل الأجزاء المنيرة ، وبهذا يختلف تيار الخلايا الضوئية المختلفة ، فتولد الأجزاء المنيرة من الصورة تيارات كبيرة ، بينما تولد تلك المعتمة تيارات صغيرة ، وبهذا « تترجم » « لغة » الضوء والظل الى لغة التيارات الكهربائية الكبيرة والصغيرة .

وبعد أن أمكن حل مشكلة إيجاد تكوين حساس للضوء ، ابتكر المهندسون نظاما لا يقل براعة لتوصيل هذه الملايين من الخلايا الضوئية الميكروسكوبية أوتوماتيكيا وبطريقة يمكن الاعتماد عليها الواحدة بعد



(شكل ١١) : أ ــ أنبوب كاميرا تليفزيونى . ب ــ أنبوب الصورة التليفزيونى

١ ــ كاثود مسخن بتيار كهربى •
٢ ــ قطب التحكم
٣ ــ قطب التسارع
٤ ــ القطب الثانى المستخدم فى تركيز الألكترونات
٥ ــ ألواح الانحراف الأفقى
٦ ــ ألواح الانحراف الرأسى
٧ ــ الكاثود الضوئى ذو الفسيفساء
٨ ــ الطبقة المعدنية التى تعمل كاثود مشترك لجميع الخلايا الضوئية فى الفسيفساء
٩ ــ العدسة
١٠ــ شاشة عليها طلاء حساس للضوء تتكون عليه الصورة المرئية •

الأخرى بجهاز الارسال التليفزيونى ، وبالطبع لم يكن هذا مجال المفاتيح الكهربائية الميكانيكية ، بل تم توصيل الخلايا الضوئية بجهاز الارسال بالاستعانة بشعاع رفيع جدا من الالكترونات عالية السرعة •

يوضع فى نهاية رقبة البصيلة الزجاجية الاسطوانية الطويلة أداة تسمى مدفع الالكترونات ويتكون مدفع الالكترونات هذا من كاثود يسخن كهربائيا يشبه الى حد ما ذلك الموجود فى الصمام الالكترونى المعتاد ، ويوضع هذا الكاثود داخل قطب اسطوانى يعمل على تركيز الالكترونات المنبعثة منه فى حزمة رفيعة ، ويزود هذا القطب بفلطية سالبة ، فتتنافر الالكترونات ــ وهى دقائق مشحونة بشحنات سالبة ــ مع هذا القطب مما يجعلها تطير فى حزمة ضيقة تقع فى محور الاسطوانة تقريبا •

وعندما تغادر الالكترونات الكاثود تكون سرعتها منخفضة نسبيا ، ولكنها تتسارع كثيرا نتيجة لتجاذبها مع الأنود المشحون بجهد موجب عال • ويصنع هذا الأنود على شكل أنبوب معدنى يحتوى على غشاء به ثقب مستدير فى الوسط ، وتمر الالكترونات خلال فتحة الغشاء وتستمر فى طيرانها فى حزمة ما زالت أضيق مما كانت عندما غادرت الكاثود •

وبهذا يطير شعاع ضيق من الالكترونات عالية السرعة خارج المدفع الالكترونى ، ويوجه هذا الشعاع الى مركز التكوين الكهربائى الضوئى ، ولكنه يمر فى طريقه بزوجين من الألواح المعدنية المتوازية أحدهما أفقى

والآخر رأسي ، وينجذب شعاع الالكترونات الى أحد لوحي الزوج الأول بينما يتنافر في نفس الوقت مع الآخر بتأثير الفلطية المسلطة على ذلك الزوج من الألواح ، وبهذا ينحرف الشعاع رأسيا ، كما يحرف الزوج الثاني من الألواح الشعاع أفقيا .

وتغذى ألواح الانحراف في أجهزة الاستقبال التليفريونى الحديث بالفلطيات من مولدات خاصة تسمى مولدات المسح ، وتجعل هذه المولدات شعاع الالكترونات يتحرك من أعلى فسيفساء الخلية الضوئية الى أسفلها ٢٥ مرة في الثانية بينما ينحرف أفقيا أسرع من ذلك بمقدار ٦٢٥ مرة (★) .

ونتيجة لهذا يقسم الشعاع الالكترونى سطح التكوين الكهربائى الضوئى بأكمله الى ٦٢٥ خطا، بينما يمسح كل نقطة على التكوين ٢٥ مرة في الثانية (★★) .

ويتحرك شعاع الالكترونات بفعل الفلطية المسلطة على ألواح الانحراف الأفقى بسرعة ثابتة مبتدئا من الركن العلوى الأيسر للفسيفساء الكهربائى الضوئى ، ولكن خط حركته لا يكون أفقيا تماما ، وهذا نتيجة لأن الشعاع ينحرف في نفس الوقت من أعلى الى أسفل بتأثير ألواح الانحراف الرأسى ، وبهذا ينخفض الشعاع بمقدار $\frac{١}{٦٢٥}$ من ارتفاع الفسيفساء عندما يصل الحافة اليمنى ، وبمجرد أن يصل الشعاع الى الحافة اليمنى ، يعود في نفس اللحظة الى الحافة اليسرى من الفسيفساء ، ويكون الارتداد من السرعة بحيث يكون الانحراف الرأسى للشعاع تافها جدا ، وهذا الارتداد جزء غير فعال من عملية المسح ، وحتى لا تتشوه الصورة ، يقطع الشعاع أثناء الارتداد بوساطة دائرة خاصة .

وبمجرد أن يصل الشعاع الى الحافة اليسرى للفسيفساء ، يعود الشعاع الالكترونى ثانية ، ويبدأ في مسح الخط التالى ، وهو بدوره بمقدار $\frac{١}{٦٢٥}$

(★) شرحنا هنا الأنبوب ذى الانحراف الاستاتيكى للتبسيط ، وهناك ايضا كثير من الأنابيب التى لا تحتوى على ألواح انحراف . وفى مثل هذه الأنابيب ، ينحرف الشعاع بواسطة قوى مغناطيسية تؤثر على الالكترونات الطائرة . ويحصل على القوى المغناطيسية اللازمة بوساطة ملفات خاصة بالتيار الكهربائى من مولدات المسح .

(★★) تقسيم الصورة الى ٦٢٥ خطا هو أكثر النظم الحديثة شيوعا ، وتستخدم المحطات الأمريكية ٥٢٥ خطا بينما تحتفظ المحطات البريطانية ـ التى كانت من أوائل من بدأ الارسال التليفزيونى ـ بنظام ال ٤٠٥ خطوط ، وتستخدم معظم المحطات الأوربية ال ٦٢٥ خطا بينما تستخدم المحطات الفرنسية نظاما يقسم الصورة الى ٨١٩ خطا .

من ارتفاع الفسيفساء أى يكون موازيا للخط الأول ، وبالاستمرار فى هذا يمسح الشعاع الالكترونى مسطح الفسيفساء بأكمله خطا بخط ، وعندما يصل الى الحافة اليمنى فى الخط الأخير ، يرتد فورا الى الركن العلوى الأيسر ويبدأ من جديد فى مسح الاطار التالى ·

وأثناء مرور الشعاع الالكترونى على خـلايا التكوين الضوئية ، يوصلها ـ حيثما وجد ـ بالدائرة الكهربائية الواحدة تلو الأخرى ، وفى كل مرة يتغير التيار المار فى الدائرة ، ويكون هذا التغير أكبر كلما كان الفرق بين اضاءة أجزاء الصورة الساقطة على الخلايا الضوئية كبيرا ، والنتيجة أن تظهر فى الدائرة ذبذبات كهربائية تناظر اختلاف اضاءة الأجزاء المختلفة للصورة المراد ارسالها ·

وأنبوب الارسال التليفزيونى أكثر حساسية بكثير من الخلاية الضوئية العادية · والسبب فى ذلك أن كلا من الخلايا الضوئية المستقلة التى تكون للفسيفساء تتصل بالدائرة الكهربائية لفترة صغيرة جدا من الوقت ، وهو ذلك الوقت الذى يستغرقه الشعاع فى المرور عليها ، بينما تظل خارج الدائرة باقى الوقت ، ولكن الضوء يستمر فى السقوط عليها طول الوقت ، وتنقذف الالكترونات من كل خلية من خلايا الفسيفساء بفعل هذا الضوء ، وبفقد هذه الالكترونات تكتسب الكريات الفضية التى تعمل ككاثودات للخلايا الضوئية شحنات موجبة ، وتفرغ هذه الشحنات التى تتراكم خلال مدة ارسال الاطار فى وقت قصير جدا عندما يمر شعاع الالكترونات على سطح الكرية ، ويزيد هذا التيار اللحظى كثيرا على متوسط التيار الكهربائى الضوئى الذى تولده الخلية نتيجة للضوء الساقط عليها · وهذه هى فكرة اختزان الشحنة التى اقترحها العـالم الروسى ب · ل · روزنج وحققها العالم السوفيتى س · ى · كاتاييف ·

ولارسال الصور باللاسلكى ، يتصل أنبوب الكاميرا ـ عن طريق مكبرات اضافية ـ بجهاز الارســال اللاسلكى بحيث تشــكل الموجات اللاســلكية بنفس الطريقة التى يشكلها بهـا الميكروفون فى الارسال الصوتى ·

وبهذا يرسل فى الهواء ٢٥ صورة كاملة ـ أو اطارا ـ يتكون كل منها من ٦٢٥ خطا كل ثانية ·

وصور التليفزيون أحسن بكثير من صور الصحف ولا تقل كثيرا عن الصــور الفوتوغرافية العادية من حيث الوضـــوح وغزارة الدرجات الوسطى للألوان ·

وفى أجهزة التليفزيون الحديثة ، يكون نظام المسح أعقد نوعا ما مما ذكر ، وهذا نتيجة لأنه بالرغم من ارسال الصور بمعدل ٢٥ اطارا فى الثانية الا أن الصورة تعانى من ارتعاش واضح ، ويمكن ازالة هذا الارتعاش اذا أرسلنا ٥٠ اطارا فى الثانية بدلا من ٢٥ ، ولكن هذا يعنى مضاعفة نطاق الترددات اللازم لارسال الصورة ٠

ويمكن ازالة الارتعاش الذى يضايق الرائى باتباع طريقة عبقرية لا تتطلب معدات أعقد كثيرا من سابقتها ٠ وتسمى هذه الطريقة طريقة المسح المتشابك ٠ وفى هذه الطريقة يرسل ٢٥ اطارا يحتوى كل منها على ٦٢٥ خطا أيضا ، ولكن ترسل كل الخطوط الفردية أولا ثم الخطوط الزوجية وهكذا ٠ ففى $\frac{1}{50}$ من الثانية تغطى الصورة كلها بتكوين يتألف من ٣١٣ خطا (أو $\frac{1}{2}$ ٣١٢ خطا بالضبط) وبعد ذلك يزحزح التكوين بمقدار خط واحد ثم ترسل باقى أجزاء الصورة فى $\frac{1}{50}$ من الثانية التالى ٠ والنتيجة أن نرسل ٥٠ اطارا فى الثانية ، كل منها أكثر خشونة من الحالة الأولى ، وبهذا نتخلص نهائيا من الارتعاش بينما يظل وضوح الصورة كما هو بالطبع ، أى بما يناظر ٢٥ اطارا كل منها ذو ٦٢٥ خطا ٠

وبالاضافة الى هذا النوع من الأنابيب الذى شرحناه فيما سبق ، تستخدم أجهزة الارسال التليفزيونية الحديثة أنواعا أخرى من أنابيب الكاميرات ٠ فمثلا هناك أنبوب بسيط جدا يستخدم فى ارسال الأفلام السينمائية ، ويستخدم هذا الأنبوب شعيرة واحدة رقيقة من مادة حساسة للضوء بدلا من فسيفساء من الكاثودات الضوئية ٠ وقد أمكن هذا التبسيط نتيجة لحركة الفيلم ، اذ بمرور الفيلم باستمرار أمام الشعيرة الحساسة للضوء ، يولد بنفسه حركة المسح الرأسى ، فليس هناك حاجة اذن للمسح الاطارى ، ولا يلزم سوى دائرة الكترونية لتوليد المسح الخطى بطول الشعيرة الحساسة للضوء ٠

وسيستخدم نظام أبسط من هذا أيضا لارسال الأفلام فى مركز التليفزيون المنشأ حديثا فى موسكو وتستعمل فيه الخلايا الضوئية المعتادة ٠ ففى هذا النظام يمر الفيلم بين خلية ضوئية بسيطة وأنبوب أشعة كاثودى عادى ، ويتحرك الشعاع الالكترونى فى هذا الأنبوب أفقيا فقط ، أى بطول الخطوط ، وبمعدل ٦٢٥ خطا كل $\frac{1}{25}$ من الثانية ٠ وبالتالى ينقسم كل اطار الى ٦٢٥ خطا ، وفى هذه الحالة تتحرك بقعة من الضوء عبر شاشة الأنبوب مكونة خطا متوهجا ، ويمر هذا الضوء

خلال الفيلم ويسقط على الخلية الضوئية وتتغير شدة الضوء المار فى الفيلم حسب الأضواء والظلال الموجودة فى الاطار المرسـل • وفى هذه الحالة يعتمد وضـوح الصورة على أبعاد البقعة الضوئية المتحركة على شـاشة أنبوب أشعة الكاثود ، وهذا يعنى امكانيـة الحصـول على وضـوح أكبر مما هو فى النظم الحالية •

وللارسال من داخل المبانى مثل المسارح والمتاحف والمصانع ، وكذلك فى ـ الاذاعات الخارجية التى قد لا تكون دائما جيدة الاضاءة ، تستخدم أنابيب تصوير ذات حساسية عالية بصفة خاصة اذ يتم التحويل الالكترونى للصورة بوساطة التضاعف الثانوى •

قريب وبعيد

بعد أن عرفنا طرق تحويل الصور الى اشارات كهربائية ، نجد أن المشكلة التالية هى نقل هذه الاشارات الى مسافات بعيدة •

وهذه المشكلة فى الواقع مشكلة معقدة لأن الذبذبات الكهربائيـة الموجودة فى الارسال التليفزيونى معقدة جدا كمـا أظهرت الحسـابات والقياسات ، وهى تمثل ـ بحالتها الطبيعية ـ مجموعة من عدد كبير من الذبذبات المسـتقلة ذات الترددات المختلفـة ، وتغطى ترددات هـذه الذبذبات نطاقا يمتد من عدة عشرات الذبذبات فى الثانية الى ستة ملايين ذبذبة فى الثانية • نذكر ـ على سبيل المقارنة ـ أن نطاقا أضيق بعـدة مرات من هذا ـ من ٤٠ الى ١٠٠٠٠ ذ/ت ـ يستخدم لارسال الصوت •

ويعتبر ارسال ذلك النطاق الواسع من الترددات اللازم للتليفزيون مستحيلا لا على الموجات الطويلة والمتوسطة فحسب بل والقصيرة أيضا • اذ يجب أن يكون تردد الموجات اللاسلكية أكبر بمقدار ١٠ الى ٢٠ مرة على الأقل من أعلى تردد يراد ارساله اذا أريد ألا تتشوه الصورة • ولهذا لا يمكن ارسال الاذاعات التليفزيونية عالية الجودة الا على الموجات القصيرة جدا التى لا تتجاوز أطوالها ٧٫٥ مترا •

وقد تزايد استخدام الموجات القصيرة جدا بعد ذلك فى الاذاعات اللاسلكية عالية الجودة ، اذ يمكن نطاق الموجات القصيرة جدا من ارسال الصوت بشكل أكثر طبيعية لأنه يمكن من زيادة نطاق الترددات المخصص لكل محطة نسبيا ، وبالاضافة الى ذلك ، فهذا النطاق أكثر من النطاقات

الأخرى خلوا من التداخل الجوى والصناعى ، ولهذا تزود معظم أجهزة الراديو عالية الجودة الحديثة بنطاق للموجات القصيرة جدا أى ترددات عالية جدا (ت ٠ ع ٠ ج) ٠

وتجبرنا حاجتنا الى استخدام الموجات القصيرة جدا فى التليفزيون والاذاعة عالية الجودة على أن ندخل فى اعتبارنا خواص هذه الموجات ٠ فالموجات القصيرة جدا لا تدور حول سطح الأرض كما تفعل الموجات الطويلة ، كما وأنها لا تنعكس من الأيونوسفير فى الظروف العادية كما تفعل الموجات القصيرة (★) ٠ والنتيجة انها تمتد فى المدى البصرى فقط كموجات الضوء تماما (★★) ٠

ومن هذا نرى أن مدى محطات ارسال الموجات القصيرة جدا محدود، فعلى الرغم من أن هوائيات أجهزة ارسال التليفزيون تقام عادة على أبراج عالية (مثل برج شوخوف فى موسكو الذى يبلغ ارتفاعه ١٥٠ مترا) أو على قمم ناطحات السحاب كما فى نيويورك ، يكون مدى محطات الارسال عادة محدودا بحوالى ٧٠ كيلو مترا (شكل ١٢) ٠

وتمكن هوائيات الاستقبال الخاصة المقامة على صوار عالية من زيادة مدى الاستقبال الواضح ٠ فمثلا يصل مدى الاستقبال الواضح لمركز تليفزيون موسكو بالنسبة لهواة اللاسلكى الذين يستعملون مثل هذه الهوائيات الى ١٢٠ كيلو مترا ٠

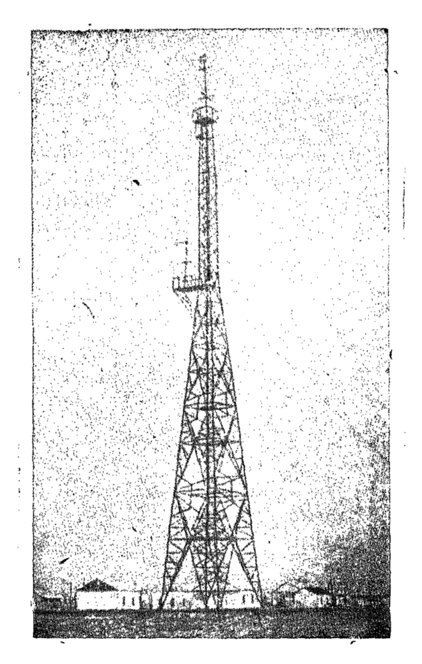
ومع ذلك فقد عرفت حالات يستقبل فيها التليفزيون على مسافات أبعد بكثير ، وقد تمكن من هذا ــ أساسا ــ بعض هواة اللاسلكى الذين يعيشون بعيدا عن مراكز التليفزيون وذلك باستخدام هوائيات معقدة وعالية وأجهزة استقبال ذات حساسية عالية تستخدم مكبرات اضافية ٠

وهناك حالات معروفة تستقبل فيها الاذاعات بانتظام وبدرجة جيدة على مسافات تصل الى ٤٠٠ كيلو مترا وأحيانا الى ما يزيد على ١٠٠٠ كيلو مترا ، فمثلا هناك حالات قياسية تستقبل فيها محطات هولندية وايطالية وتشيكية وألمانية بانتظام فى الاتحاد السوفيتى وكذلك الاذاعات السوفيتية فى بلجيكا وهولندا وسويسرا وايطاليا (★) ٠

(★) لزيادة الايضاح عن الأيونوسفير انظر الفصل الأول ٠

(★★) تضمحل الموجات القصيرة جدا بسرعة وراء المدى البصرى ٠

(★) وكذلك من المعروف أن اذاعات جمهورية مصر العربية تستقبل طوال الصيف فى لبنان وسوريا الى أقصى شمالها بدرجة كبيرة من الوضوح كما وان بعض الهواة بجمهورية مصر العربية يستقبلون اذاعات لبنان وسوريا والسعودية وايطاليا والاتحاد السوفيتى خلال فترات معينة فى أشهر الصيف ــ (المترجم) ٠



(شكل ١٢) : هوائي محطة ارسال تليفزيوني .

وقد خلقت هذه الحالات ــ التى سجلها هواة اللاسلكى ــ دافعــا جديدا لعلم امتداد الموجات اللاسلكية ، فقد اكتشف الهواة مرة أخـرى ظاهرة جديدة هامة تماما كما أثبتوا فى أوائل العشرينات من هذا القرن امكانية اجراء اتصال لاسلكى عبر آلاف الكيلو مترات عن طريق الموجات القصيرة جدا ، والواقع أن العاملين على الرادار ذى الموجات المترية كانوا قد لاحظوا شيئا مشابها (انظـر الفصــل الثالث) ولكنها كانت حالات فردية كما وأنها لم تلاحظ الا على سطح البحر ، واتضــح انهــا حالات انكسار كلى للموجات اللاسلكية فى الجو ، مثل الانكسار الكلى البصرى الذى يسبب السراب ، وبالطبع لايمكن اعتبار ظاهرة الانكسار الكلى النادرة نسبيا أساسا للاتصال اللاسلكى بعيد المدى .

وقد جذب امتداد الموجات اللاسلكية القصــيرة جدا الى مســافات بعيدة ــ والذى تزايدت ملاحظة هواة اللاسلكى له ــ انتباه العلماء حتى أصبح موضوعا للبحث المنظم .

وقد اتضح أن الحالات المتزايدة للاستقبال التليفزيونى الى مسافات تصل الى عدة آلاف من الكيلو مترات وكذلك الاتصال بين الهــــواة على مسافات تصل الى ثلاثة أو أربعة آلاف كيلو مترا بأجهزة ارسال منخفضة القدرة لم تكن نتيجة للتحسين فى الأجهزة والمهارة فحسب ، بل ان هناك علاقة وثيقة بين حدوث هذه الظواهر واقتراب قمة النشاط الشمسى .

ولقد لوحظ أن النشاط المتزايد للشمس يرفع من درجة التأين فى الأيونوسفير حتى أن الموجات المتــرية ــ التى تمــر عادة خــلاله الى خارج الغلاف الجوى للأرض ــ تنعكس أيضا عنه ، ويصاحب هذا عادة ارتفاع عشوائى محلى فى تأين الغلاف الجوى مما قد يسبب تغييرات كبيرة ــ فى الحالات المواتية ــ فى ظروف انتشار الموجات القصيرة جدا فى مســار معين .

ويفسر هذا كله عدم الاستقرار المميز لامتداد الموجات القصـــيرة جدا الى مسافات كبيرة . ويلاحظ هذا الامتداد الى مســافات بعيدة فى الصيف أكثر منه فى الشتاء . ويزيد احتمال هـــذا الامتداد مع زيادة النشاط الشمسى ولهذا يتغير دوريا طبقا لدورة الأحد عشر عاما للشمس .

وقد لوحظ أثناء التجارب على الاستقبال التليفزيونى على مســافة بعيدة تحسن فجائى فى الاســـتقبال يدوم لدقيقتين أو ثلاث ثم يعــود الاستقبال الى ما كان عليه . وتحدث هذه الزيادة فى شدة الاشارة نتيجة لانعكاس الموجات القصيرة جدا على آثار الشهب . وقد استغلت هـــذه

الظاهرة الهامة فى تطوير نظام جديد للاتصالات يضمن درجة عالية من السرية وسنعود اليه فى الفصل الرابع ·

ولنقل الاشارات التليفزيونية لمسافات بعيدة ، وكذلك لربط المدن الكبرى ـ بالاتصالات التليفونية والتلغرافية ، استخدمت خطوط سلكية تستخدم أنواعا خاصة من كابلات الترددات العالية التى يمكنها أن تنقل الاشارات ذات النطاق المتسع من الترددات مثل اشارات جهاز الارسال التليفزيونى · ومع ذلك فللكابلات المتحدة المحور عيب خطير ، اذ تضعف الموجات اللاسلكية المارة فى كابل متحد المحور بسرعة · ولهذا يجب قطع الكابل على مسافات تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ كيلو مترا لادخال صمامات مكبرة لتغذية الاشارات المكبرة الى القسم التالى ·

وبالاضافة الى الكابلات المتحدة المحور ، تستخدم خطوط المتابعة اللاسلكية سواء للاتصالات أو الاذاعات التليفزيونية · وتتكون الخطوط من سلسلة من محطات استقبال وارسال تعمل على الموجات السنتيمترية موضوعة فى أبراج عالية (شكل ١٣) · ويمكن أن تكون هذه المحطات منخفضة القدرة جدا لانها مزودة بهوائيات عالية الموجهية · فمثلا يصل مدى جهاز ارسال قدرته وات واحد وموضوع على برج ارتفاعه ١٠٠ متر الى حوالى ٧٠ ـ ١٠٠ كيلو مترا حسب طبيعة الأرض · وتعتبر خطوط المتابعة اللاسلكية وسيلة متقدمة للاتصالات ، لهذا ستتضاعف المسافة الكلية لخطوط المتابعة اللاسلكية فى البلاد ست مرات فى خطة السنوات السبع القادمة ·

وتعتبر زيادة المسافات بين محطات خطوط المتابعة اللاسلكية من الأفكار الجذابة جدا من الناحية الفنية ، اذ أن بناء هذه المحطات وتشغيلها فى الأماكن البعيدة الخالية من السكان عالى التكاليف نسبيا · وقد أظهر البحث فى ظاهرة الاستقبال التليفزيونى من مسافات بعيدة والتى اكتشفها هواة اللاسلكى أن مثل هذا الاستقبال ممكن جدا ·

وقد وجد أن امتداد الموجات المترية الى مسافات كبيرة بدرجة غير عادية كان نتيجة لانتشارها فى الأيونوسفير بسبب الاضطرابات العشوائية وتزيد هذه الاضطرابات كثيرا فى أشهر الصيف وعلى وجه الخصوص فى فترات النشاط الشمسى الزائد ، وهذا يفسر عددا كبيرا من حالات الاستقبال التليفزيونى على مسافات وصلت الى ٢٠٠٠ كيلو مترا ، ولكن هذا بالطبع لا يمكن استخدامه كأساس لانشاء خطوط اتصالات ثابتة ، ولكن أظهرت المشاهدات أن الموجات اللاسلكية السنتيمترية تنتشر أيضا بسبب الاضطرابات العشوائية ، ولكنها اضطرابات ذات طبيعة مختلفة

كما انها ليست فى الأيونوسفير وانما فى التروبوسفير ، الطبقة الأسفل من الأيونوسفير فى جو الأرض وبالتالى الأكثر كثافة ·

وتنتج الاضطرابات فى التروبوسفير من تكون الدوامات التى تعرض الضغط فى المناطق المختلفة من التروبوسفير ـ وبالتالى الكثافة ـ لتغيرات عشوائية صغيرة ، مثلما تفعل الرياح العادية · وتسبب هذه التغيرات فى الكثافة انتشارا للموجات اللاسلكية السنتيمترية بطريقة تشبه انتشار الضوء نتيجة لنقط الضباب · ومع ذلك فهناك فرق رئيسى بين هذا وذاك ، فان نقط الضباب ـ نظرا لانها أكثف من الهواء ـ تنشر الضوء بانتظام فى كل الجهات تقريبا ، أما الدوامات فى التروبوسفير فتغير الكثافة تغييرا طفيفا ولهذا تنشر الموجات اللاسلكية بطريقة مختلفة· فاذا شع هوائى محطة لاسلكية شعاعا ضيقا من الموجات اللاسلكية ، فان الانتشار نتيجة لاضطرابات التروبوسفير يزيد من عرض هذا الشعاع · ونتيجة لذلك فان بعض الموجات اللاسلكية المنتشرة تصل الى سطح الأرض فى أماكن وراء الأفق بكثير ، بالرغم من أن الشعاع الأصلى للموجات اللاسلكية يستمر فى طريقه الى الفضاء ·

وبالطبع سيستقبل هوائى الاستقبال الموضوع على مسافة ٣٠٠ أو ٤٠٠ كيلو مترا من محطة الارسال جزءا صغيرا من الطاقة المشعة ، ولكن المهم هنا أن هذا الجزء مستقر بدرجة ملحوظة · وهذا يعنى امكانية استخدامه فى الاتصالات المنتظمة · وقد أظهرت الأبحاث أن الطبيعة العشوائية الاستكاتيكية لهذا الانتشار كما يقول الفيزيائيون هى التى تضمن استقراره ، تماما كما تجعل التغيرات العشوائية فى كثافة الهواء السماء تبدو زرقاء ، ولكن بينما يمكن للسحاب ـ عن طريق حجب الطبقات العليا من الغلاف الجوى وانتشار الضوء الأبيض على دقائقها ـ أن يخفى زرقة السماء ، فانه لا يستطيع ايقاف الموجات اللاسلكية المتفرقة وقطع هذا النوع الجديد من الاتصالات ·

وباستغلال ظاهرة انتشار الموجات السنتيمترية نتيجة للاضطرابات الموجودة فى التروبوسفير يمكن انشاء خطوط متابعة لاسلكية تصل المسافة بين محطاتها الى ٣٠٠ أو ٤٠٠ كيلو مترا غانمين بذلك اقتصادا كبيرا فى النفقات وحاصلين على اتصالات لاسلكية واذاعات تليفزيونية عاليه الجودة فى أقصى أطراف البلاد ·

وقد اقترح ـ فى السنين الأخيرة ـ عدد من الطرق لزيادة مدى الارسال التليفزيونى أكثر من ذلك ·

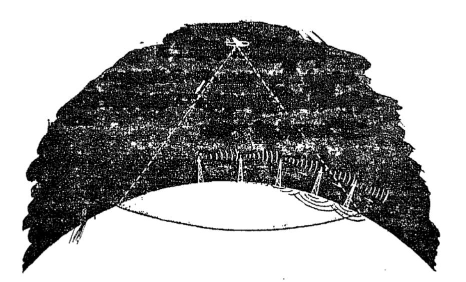
وقد أظهـر الاقتصـاديون ـ بالأرقام ـ أنه من الأربح فى بعض الأحيان رفع جهاز الارسال التليفزيونى فى هليكوبتر أو طائرة تطير فى دائرة صغيرة على ارتفاع كبير بدلا من مد الكابلات أو بناء خطوط المتابعة اللاسلكية ، اذ يصل مدى جهاز الارسال التليفزيـونى الموضـوع فى هليكوبتر يطير على ارتفاع عشرة كيلو مترات ـ بدون اعتبار الانكسار فى الموجات ـ الى ٥٧٥ كيلو مترا ، بينما يصل الى ٨٠٠ كيلو مترا اذا كانت الطائرة على ارتفاع ٢٠ كيلو مترا فاذا أدخلنا انكسار الموجات فى الاعتبار يزيد المدى على ذلك بمقدار ٢٠ الى ٢٥٪ ٠ ويمكن ـ هندسيا ـ عمل معدات من هذا النوع بحيث تكون أوتوماتيكيـة تماما ، فتتم جميـع العمليات المطلوبة لتشغيل المحطة بما فيها اقلاع الطائرة وطيرانها وهبوطها وتشغيل جهاز الارسال بدون انسان ٠ وقد حدث أثناء احدى التجارب على الارسال من طائرة تطير على ارتفاع ستة كيلومترات فوق ستوكهلم أن شوهدت الاذاعة بوضوح على بعد ٥٠٠ كيلومترا ٠

ويقوم الاتحاد السوفيتى وكثير من البلاد الأخرى باستبدال الكابلات المتحدة المحور المستعملة فى الاتصالات بعيدة المدى بأنابيب مجوفة تسمى الدلائل الموجية ٠ فقد أظهرت الحسابات والتجارب أن أنواعا معينة من الموجات السنتيمترية والموجات المليمترية بالذات لا تضعف كثيرا أثنـاء انتقالها فى أنابيب مستديرة ، وهناك ظاهرة مشابهة فى الصوتيات ، اذ تستخدم أنابيب الكلام من أقدم العصور الى يومنا هذا لنقل الصوت بلا مجهود من غرفة القبطان على سطح السفينة الى غرفة الآلات أو من طرف مبنى الى الطرف الآخر ٠

ولا تحتاج خطوط الاتصالات الطويلة ذات الدلائل الموجية ـ نتيجة للتوهين القليل فى شدة الاشارة ـ الا الى عدد قليل من المكبرات بالنسبة لخطوط الكابلات الحديثة ، وبهذا تكبر المسافات بين المكبرات مما يمكن من وضعها فى الأماكن الآهلة بالسكان وبهذا تنخفض تكاليف انشـاء هذه الخطوط وتشغيلها ٠

وتسمح قلة تكاليف خطوط الدلائل الموجية وارتفاع العول عليها بمنافسة خطوط المتابعة اللاسلكية بنجاح لأن خطوط المتابعة اللاسلكية المعتادة التى تفصل محطاتها مسافة تصل الى ٧٠ كيلومترا غالية التكاليف بينما تقل سعة الجديد منها الذى يستخدم انتشار الاشعاع عن سعة خطوط الموجات بعدة عشرات من المرات ٠

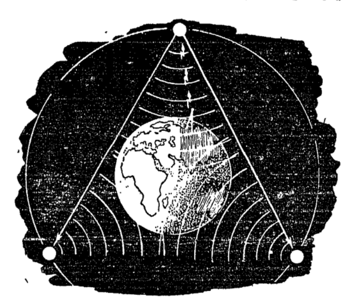
وستختبر ـ فى السنين القليلة القادمة ـ وسيلة جديدة لزيـادة



(شكل ١٣) : الارسال التليفزيونى للمحطة العادية مدى يصل الى حوالى ٧٠ كيلومترا ، بينما يمكن أن يصل مدى محطة ارسال تليفزيونية فى طائرة الى مايزيد على ٨٠٠ كيومترا ٠

مجال تغطية الارسال التليفزيونى ، وهى استخدام الأقمار الصناعية لهذا الغرض (شكل ١٤) (★) ٠

هذا ولقد أظهرت الحسابات أنه اذا وصل قمر صناعى الى ارتفاع ٣٥٠٠٠ كيلو مترا فانه يدور حول الأرض مرة كل ٢٤ ساعة وهذا يعنى



(شكل ١٤) : الرسم التخطيطى لنظام تليفزيونى يستخدم الأقمار الصناعية ٠

(★) كتب هذا الكتاب من سنوا ت٠ وقد تمت بالفعل تجربة الأقمار الصناعية فى الارسال التليفزيونى فى التلستار والطائر المبكر وما أشبه ـ (المترجم) ٠

أنه اذا أطلق مثل هذا القمر من مستوى خط الاستواء ، يتعلق بلا حركة فوق نقطة ثابتـة من الأرض ، ولكن هذا القمر الصناعى « الساكن » لن يثبت بالفعل فى مكان واحد بل سيدور ببطء حول الأرض ــ نتيجة لأنها ليست كرة كاملة ــ بحيث يتحرك درجة واحدة تقريبا كل أسبوع ·

مثل هذه الحركة النسبية البطيئة لا تؤثر على الارسال ، ولكن القمر الذى كان فى البداية فى السمت (متعامدا فوق الرؤوس) يختفى بعد سنتين تقريبا وراء الأفق ، فاذا أردنا تشغيلا لهذا النظام يجب أن نطلق ثلاثة أقمار صناعية واحدا كل ثمانى ساعات ، وكما يظهر من الرسم يمكن رؤية واحد منها على الأقل من أية نقطة على الأرض ، فاذا أرسل أحد هذه الأقمار اشاراته الى الآخرين فان هذا يحل ــ من حيث المبدأ ــ مشكلة اذاعة برنامج معين على جميع نقط الأرض فى وقت واحد ·

عود الى الصورة

يلتقط هوائى جهـاز الاستقبال التليفزيونى العـامل على الموجات القصيرة جدا الموجات اللاسلكية التى تحمل اشارات الصورة ، وهذا الجهاز يختلف عن جهاز الاستقبال الاذاعى العادى لا فى أنه يعمل على الموجات القصيرة جدا فحسب ، بل أيضا فى أنه يستطيع امرار كل نطاق الترددات اللازم لاعادة انتاج الصورة بلا تشويه ·

ويقوم جهاز الاستقبال بكشف الموجات اللاسلكية ، أى يفصـل اشارات الصورة (أو الاشارات المرئية) عنها ، وتسلط هذه الاشارات على قطب التشكيل فى أنبوب أشعة الكاثود (أنبوب الصورة) فى جهاز الاستقبال ·

ويشبه هذا الأنبوب فى مظهره قارورة زجاجية رقيقة الجدران ذات رقبة طويلة وقاع محدب قليلا · ويفرغ هذا الأنبوب من الهواء ويوجد فى نهاية الرقبة مدفع الكترونات يشبه ذلك المستخدم فى أنبوب الكاميرا · ويصطدم شعاع الالكترونات الخارج من المدفع بمركز قاع الأنبوب ، ويغطى هذا القاع بمادة فلورية خاصة تتوهج عندما تصطدم بها الكترونات ذات سرعة عالية ، وتتوهج شاشات التليفزيون المستخدمة حاليا بضوء أبيض·

ويمر شعاع الالكترونات ، كما فى أنبوب الكاميرا تماما بين ألواح انحراف وهو فى طريقه من المدفع الى الشاشة ، وتزود هذه الألواح أيضا بفلطيات من مولدات خاصة تجعل الشعاع ينحرف رأسيا وأفقيا (★) ·

(★) بالاضافة الى الانحراف الاسـتاتيكى الكهربائى المذكور ، تستخدم انابيب الصورة غالبا الانحراف المغناطيسى الكهربائى ·

وتناظر حركة شعاع الالكترونات فى أنبوب الصورة حركة الشعاع فى أنبوب الكاميرا تماما ــ ولضمان ذلك فان جهاز الارسال التليفزيونى يرسل اشارات مزامنة خاصة بالاضافة الى اشارات الصورة وفى نفس الوقت معها . وتجعل هذه الاشارات الاشعة الالكترونية فى جميع أجهزة الاستقبال تبدأ مسح أول خط فى الصورة فى نفس الوقت الذى يقوم فيه الشعاع الالكترونى فى أنبوب الكاميرا بمسح أول خط فى الفسيفساء .

فاذا لم توجد اشارات المزامنة لحظة بداية هذه الحركة وسرعتها ، فان الصورة تظهر مشوهة ، فمثلا يمكن أن يظهر هذا التشويه ــ المعروف فى السينما أيضا ــ والذى تبدو فيه الصورة مقطوعة نصين الأسفل منهما فوق الأعلى .

وكما ذكر من قبل ، تسلط اشارات الصورة على قطب التشكيل فى أنبوب الصورة . ويمنع هذا القطب الالكترونات من مغادرة المدفع فى حالة عدم وجود اشارة ، ونتيجة لهذا تظل شاشة الأنبوب مظلمة .

فاذا سقطت صورة على فسيفساء أنبوب الكاميرا ، تظهر على قطب التشكيل فى أنبوب الصورة فلطية تزيد كلما زادت شدة الضوء الساقط على الجزء المناظر فى الفسيفساء . وهذا يدفع تيارا من الالكترونات من مدفع الالكترونات ، ويتناسب هذا التيار مع فلطية التشكيل ولما كان توهج أية بقعة على الشاشة يعتمد على عدد الالكترونات التى تصطدم بها ، فان توهج الشاشة يتناسب مع اضاءة البقعة المناظرة على فسيفساء أنبوب الكاميرا .

وبهذا نرى أنه نتيجة للعمل المتزامن (فى وقت واحد) لدائرتى المسح فى جهازى الارسال والاستقبال ، فان الصور الدقيقة للأشياء الموضوعة أمام عدسة الكاميرا يعاد تكوينها على شاشات أجهزة الاستقبال التليفزيونى .

ونظرا لأن معدل ارسال الصور التليفزيونية هو ٢٥ صورة فى الثانية ، فانه يمكن اعادة تكوين الصور المتحركة والثابتة .

وتصنع أجهزة تليفزيونية عالية الجودة متعددة الأنواع فى الاتحاد السوفيتى ومعظمها مزود بأنابيب صور يزيد قطرها على ٣٠ ★ سنتيمترا ، والأجهزة الأخيرة منها أصغر حجما وأخف وزنا من الأنواع

(★) أى ١٢ بوصة (المترجم) .

السابقة كما أن استهلاكها الكهربائى أقل . فمثلا نجد أن طراز روبين الذى قطر شاشته ٤٣ سنتيمترا أخف وأصغر من طراز تمب ـ ٢ الذى قطر شاشته ٤١ سنتيمترا ، كما أن استهلاكه الكهربائى أقل منه . أما الجهاز طراز يانتار الجديد فقطر شاشته ٥٣ سنتيمترا .

ولجهاز التليفزيون موسكفا أكبر شاشة ، وهو من نوع الاسقاط ، فتولد صورته على أنبوب خاص ذى شاشة صغيرة يصل قطرها الى ستة سنتيمترات فقط ولكنها شديدة الاضاءة، ثم تسقط الصورة بوساطة مجموعة بصرية خاصة على شاشة أبعادها ٩ر٠ × ٢ر١ مترا . وقد أظهرت التجربة أنه فى قاعة مظلمة ، يمكن أن يشاهد هذه الشاشة ٢٠٠ متفرج فى وقت واحد . وهذا الجهاز مناسب بصفة خاصة للنوادى والاستراحات لأنه مزود بجهاز للتحكم من بعيد بحيث يمكن التحكم فيه من الجانب المقابل من القاعة .

التليفزيون الملون

اقترح المهندس السوفيتى ى . أ . آدميان سنة ١٩٢٥ أو طريقة لارسال الصور الملونة باللاسلكى . وكانت هذه الطريقة تعتمد على المسح الميكانيكى باستخدام قرص نيبكوف ومرشحات ملونة دوارة ، وكان هذا مناسبا للمستوى العام للتليفزيون فى ذلك الوقت .

أما الآن فهناك الكثير من الطرق المختلفة للحصول على التليفزيون الملون ، وكثير منها ارساله عالى الجودة كما تستخدم اجهزة بسيطة نسبيا ، ولكن عند اختيار أحسن الطرق يجب على المهندسين ألا ينظروا الى المشاكل الهندسية فحسب بل أيضا الى اهتمامات الملايين من مشاهدى التليفزيون الذين يملكون التليفزيون الأبيض والأسود . ومن المعترف به عموما أن أكثر الطرق ملاءمة هى تلك التى تسمح باستقبال التليفزيون الملون بوساطة الأجهزة العادية بالأبيض والأسود بدون أى تغيير فى الجهاز ، وكذلك يجب أن تسمح الطريقة المستخدمة فى الارسال الملون باستقبال الارسال الأبيض والاسود على الأجهزة الملونة .

ولكن كيف يتم ارسال واستقبال الصور الملونة ؟ تستغل معظم أجهزة التليفزيون حساسية العين للألوان المركبة التى اكتشفها نيوتن . فقد وجد أنه يمكن خلط أى لون باللون المتمم له لانتاج اللون الأبيض .

والألوان المتتامة هي النيلي مع الأصفر والأزرق مع البرتقالي والأخضر مع الأرجواني وبعض الألوان الأخرى • وقد استخدمت هذه الخاصية منذ زمن بعيد في طبع الصور الملونة • فباستخدام لونين من مجموعة الألوان المتتامة ، يمكن الحصول على صورة ملونة جيدة • وبخلط هذين اللونين بنسب مختلفة يمكن الحصول على ألوان بينية مختلفة •

وللحصول على صور ملونة عالية الجودة يجب استخدام ثلاثة ألوان ، الأحمر والأخضر والأزرق مثلا ، أو الأحمر والأصفر والأخضر • وتستخدم طريقة الألوان الثلاثة هذه حاليا في الأفلام السينمائية الملونة والتصوير الفوتوغرافي وفي معظم دور الطباعة التي تطبع الصور الملونة •

وتستقبل العين الصور الملونة المركبة ليس فقط عندما تضاف الألوان الأساسية الى بعضها البعض بل أيضا عندما يتبع الواحد منها الآخر بسرعة ، وهذا بسبب مداومة العين التي ذكرناها من قبل •

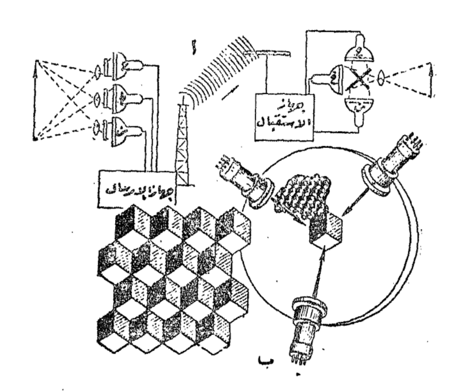
وطبقا لهذا يمكن تقسيم نظم التليفزيون الملون الى قسمين رئيسيين ، نظم الألوان المتزامنة ونظم الألوان المتتابعة حيث ترسل الألوان الأساسية الواحد منها بعد الآخر •

ثم يمكن تقسيم هذه النظم ثانية وفق ما اذا كانت تستخدم ثلاثة أنابيب منفصلة كل منها مختص بلون واحد ثم تخلط الألوان بصريا لتكون الصورة أو ما اذا كانت عناصر الألوان المختلفة توضع بترتيب خاص على شاشة أنبوب واحد وتكون هذه العناصر من الصغر بحيث لاتراها العين ولكنها تختلط ببعض لتكون صورة ملونة (شكل ١٥)

وقد اضطرت احتياجات التليفزيون الملون الفيزيائيين لايجاد أنواع جديدة من المواد الفلورية التي تولد ألوانا أساسية نقية ناصعة عندما تصطدم بها الالكترونات •

وفي النظم التي تخلط فيها الصور بصريا ، تغطى شاشات الأنابيب الثلاثة بثلاثة أنواع مختلفة من المواد الفلورية بحيث لو نظرنا الى كل صورة على حدة لرأيناها أحادية اللون • أما اذا نظرنا الى جهاز الاستقبال فاننا نرى الصور الثلاثة كلها مضافة بعضها الى بعض في وقت واحد ، ونتيجة لهذا نرى الصورة ملونة بألوانها الطبيعية •

وتستخدم بعض نظم التليفزيون الملون أنبوبا واحدا لأشعة كاثود تولد الصورة الملونة على شاشته مباشرة • وهناك عدة طرق لذلك ، وتعتمد جميعها على أن العناصر أحادية اللون للصورة تكون صغيرة حتى



(شكل ١٥) : تكوين الصور الملونة

أ ـ اضافة ثلاث صور أحادية اللون • ب ـ أنبوب التكوين الملون

أن العين لا تستطيع أن ترى كلا منها على حدة اذا نظرت اليها من مسافة متر أو ٥ر١ متر فأكثر بل تندمج فى صورة واحدة ملونة •

وتتكون شاشة مثل هـذه الأنابيب من كمية كبيرة من أهرامات ثلاثية تغطى الجوانب المتشابهة منها بنفس النوع من المـادة الفلورية وتقذف بالالكترونات من واحـد من ثلاثة مدافع الكترونات ، وهنـاك أنواع أخرى توضع فيها المواد الفلورية المختلفة على هيئة أشرطة ضيقة متوازية وهـكذا •

وبالطبع تكون شاشات أنابيب أشعة الكاثود المستخدمة فى أجهزة التليفزيون الملون معقدة جدا حتى أنه وجـد من غير المربح انتاج أنابيب صغيرة نظرا للدقة العالية المطلوبة • ويبدو أن أكثر أجهزة الاستقبال شيوعا ستزود بأنابيب يصل قطرها الى نصف متر •

ومن البديهى أن تركيب الصورة الملونة أعقد من تركيب الصـورة بالأبيض والأسود • لهذا يجب أن ترسـل الاشارات المناسبة لكل من الألوان الأساسية الثلاثة اذا أريد الحصول على استقبال صحيح للصورة

باستخدام نظام الألوان الثلاثة وهذا بالطبع يتضمن زيادة عدد الاشارات المراد ارسالها أو كما تعود رجال اللاسلكى أن يقولوا ، يجب زيادة حجم البيانات المراد ارسالها • ويبدو لأول وهلة أن زيادة حجم البيانات مع الاحتفاظ بالقيم القياسية (٢٥ اطارا فى الثانية و ٦٢٥ خطا فى الصورة) قد يتطلب مضاعفة نطاق ترددات اشارة التليفزيون ثلاث مرات ، وقد كان من المحتمل أن يكون هذا هو الحل بالفعل لو لم يكتشف مهندسو الراديو امكانيات رائعة استنبطت من أعمال الأكاديمى كوتلنيكوف والعلماء الأمريكيين فيتر وشانون وآخرين •

فقد ظهر أن نظم التليفزيون الحديثة مسرفة جدا فى استخدام نطاقات الترددات المخصصة لها ، اذ يحتوى النطاق المتسع الذى يبلغ ستة ملايين ذبذبة فى الثانية والذى تشغله كل قناة تليفزيونية على قطاعات خالية من الاشارات تقريبا • وتمثل هذه القطاعات حيزا اضافيا يمكن استخدامه فى ارسال الصور الملونة بدون زيادة نطاق الترددات الكلى •

ويمكن — باستغلال خواص العين البشرية — استخدام نطاق من الترددات أضيق بكثير من ذلك المطلوب نظريا • وقد ذكرنا احدى هذه الخواص عندما تكلمنا عن المسح المتشابك الذى استخدم لازالة الارتعاش فى الصورة بدلا من مضاعفة التردد الاطارى (الذى يعنى مضاعفة نطاق الترددات) •

فقد وجد أن العين لا تستطيع تمييز ألوان التفاصيل الصغيرة ، وبالتالى لم تعد هناك حاجة لتكوينها • والواقع أن هذه التفاصيل هى التى تشغل القطاع عالى التردد من النطاق المخصص للقناة التليفزيونية • وبهذه المناسبة تستخدم هذه الخاصية للعين بكل نجاح فى الطباعة الملونة حيث تطبع التفاصيل الصغيرة للصور الملونة باللون الأسود العادى دون أن تفقد الصورة جودتها • وبهذا لا يلزم ارسال الألوان الا للمساحات الكبيرة نسبيا وهى التى تناظر الترددات المنخفضة • وفى نظم التليفزيون الملون الجارى تطويرها الآن ، يحاول الباحثون تقريب نطاقات الترددات المخصصة للألوان بعضها من بعض مما يجعل توزيعها أكثر اتفاقا مع المنطق •

ويمكن اعطاء فكرة عن الطرق المستخدمة لتضييق نطاق التردد — والتى مهدت نظرية المعلومات لها — من المثال التالى • لنفرض أن الصورة المراد ارسالها منظر بحرى يتكون من سماء فاتحة اللون متجانسة وبحر

داكن اللون . ففى النظم الحالية ترسل اشارة تدل على شدة اضاءة كل نقطة فى الصورة بينما لا تتغير شدة الاضاءة فى مثالنا هذا الا مرة واحدة فقط فى كل اطار ، وذلك عند الانتقال من السماء الى البحر بينما تقترح نظرية المعلومات ارسال بيانات شدة اضاءة أول نقطة فى الصـــورة ثم عندما تتغير بعد ذلك فقط ، وهذا يعنى أنه بالنسبة لمثالنا هذا ينخفض عدد الاشارات المرسلة من نصف مليون كل اطار الى اثنين فقط ، وهذه بالطبع حالة قصوى . ولا يتطلب الأمر تحليلا احصائيا لمعرفة ما اذا كانت صورة ما تحتوى على مساحات متجانسة كبيرة أو صغيرة وانما تكفى لذلك نظرة واحـــدة .

وليس هناك شك فى أن ارسال اشــــارات تدل على تغير الألوان والاضاءة أوفر بكثير من ارسال اشارات الألوان والاضاءة لكل نقطة .

وبتطبيق أساليب نظرية المعلومات يمكن حل مشكلة التوفيق بين نظم التليفزيون الملون وتلك المستخدمة حاليـا فى التليفزيون الأبيض والأسود . وبالتالى ستمكن هـــذه النظرية من تحسين جودة الصـــور التليفزيونية الى حد يجعلها فى مستوى أحسن الأفلام الملونة فى عصرنا الحـاضر .

ماوراء الحدود المنظورة

ان الأهمية الثقافية والعملية لتطوير التليفزيون الى ما هــو عليه الآن واضحة ، ولكن التليفزيون أداة قيمة للغاية فى العلم والهندسة .

فان الفسيفساء الحساس للضوء ــ مثله فى ذلك مثل الخلية الضوئية العادية ــ ليس حساسا للضوء المرئى فحسب بل أيضـــا للأشعة فوق البنفسجية غير المرئية وكذلك للأشعة تحت الحمراء ذات الأهمية الخاصة . وتسمى الأشعة تحت الحمراء وأحيانا الأشعة الحرارية لأنها تنبعث بكميات كبيرة من جميع الأجسام الساخنة حتى لو كانت درجة حرارتها أقل من أن تبعث ضوءا مرئيا .

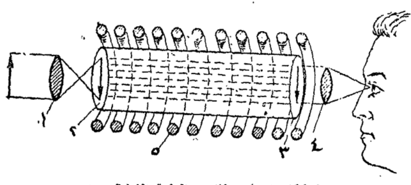
فاذا وضعت قطعة من الحديد الساخن أو ابريق ساخن فى غرفـــة مظلمة تماما على مائدة أمام جهاز ارســـال تليفزيونى ذى أنبوب كاميرا حساس للأشعة تحت الحمراء ، فان من يقف بجانب جهاز الارسال لا يراها بينما تظهر صورتها على شاشات أجهزة الاستقبال التليفزيونى .

وتظهر هذه القطع المعدنية الساخنة للمشاهدين كما لو كانت مضاءة بضوء ناصع أو ساخنة لدرجة البياض بحيث تبعث ضوءها الخاص ، وهذا نتيجة لسقوط الأشعة تحت الحمراء غير المرئية التى تبعثها الأجسام الساخنة على الفسيفساء الحساس للضوء والموجود فى أنبوب الكاميرا .

وتستطيع الأشعة تحت الحمراء أن تخترق السحب والضباب والدخان أكثر من الضوء المرئى . ولهذا يمكن أن يكون التليفزيون ذا فائدة عظيمة فى اكتشاف الطائرات والدبابات ليلا أو فى السحاب أو الضباب وذلك بوساطة الأشعة تحت الحمراء التى تشعها مواسير العادم الساخنة ومداخن السفن . ومن الخواص الهامة لهذا الاستخدام للتليفزيون ، أن عامل تشغيل التليفزيون يمكنه أن يظل مختبئا بغير أن يشعر به أحد لأنه لا يبعث أى اشارة ، بعكس الرادار الذى سنتناوله بالبحث فى الفصل القادم . ويمكن زيادة كفاية هذه الطريقة للمراقبة باستخدام أضواء كاشفة قوية تشع الأشعة تحت الحمراء فقط . وتنعكس هذه الأشعة — كأشعة الضوء — عن الأجسام المختلفة بدرجات مختلفة . وباستخدام ضوء كاشف ، يشع الأشعة تحت الحمراء ، مع كاميرا تليفزيونية ، يمكن رؤية الأجسام الباردة وملاحظة المنطقة المحيطة بالكاميرا فى أى جو (★) .

وبهذا مكن التطور فى تقنيات التليفزيون من حل مشكلة الرؤية فى الظلام . وأساس عمل أنابيب « الرؤية الليلية » فى غاية البساطة (شكل ١٦) . والجزء الرئيسى فى الأنبوب عبارة عن غلاف اسطوانى من الزجاج مفرغ من الهواء ويغطى أحد سطحيه المستويين من الداخل بطبقة من السيزيوم وتعمل ككاثود ضوئى . ويغطى السطح المستوى الآخر بمادة فلورية تشبه تلك المستخدمة فى شاشات أنابيب أشعة الكاثود ، ويتصل الطرف السالب للبطارية التى تغذى الأنبوب بالكاثود الضوئى بينما يوصل الطرف الموجب بالشاشة . وبهذا تنجذب الالكترونات المنبعثة من الكاثود الى الشاشة بسرعة تتزايد أثناء الطريق تزايدا يعتمد على فلطية البطارية . ويوضع الأنبوب بأكمله فى مجال مغناطيسى متجانس فى اتجاه محور الأنبوب ، ويشترط أن تكون قيمة هذا المجال واتجاهه واحدا فى جميع النقط ، ويضمن التأثير المشترك للمجال المنتظم والبطارية المتصلة بالأنبوب سقوط جميع الالكترونات المنبعثة من نقطة ما على الكاثود على النقطة المناظرة من الشاشة دون سواها .

(★) وفى هذه الحالة يمكن ، بالطبع ، أن يكتشف هذا الضوء الكاشف باستخدام أجهزة حساسة للأشعة تحت الحمراء .



(شكل ١٦) : انابيب الرؤية الليلية •

١ ـ عدسة ٣ ـ شاشة فلورية

٢ ـ كاثود ضوئى ٤ ـ العينية

٥ ـ ملف •

فاذا استخدمت عدسة لاسقاط صورة الهدف على الكاثود الضوئى ، تبعث النقط المختلفة للكاثود كميات مختلفة من الالكترونات حسب شدة اضاءة النقط المناظرة فى الصورة • ونتيجة للخاصية المذكورة سابقـا للمجال المغناطيسى ، تظهر صورة على الشاشة تناظر تلك الساقطة على الكاثود الضوئى ، لأن كل نقطة على الشاشة تتلقى الالكترونات من النقطة المناظرة على الكاثود ، وهذا يعنى أن درجة اضاءة كل نقطة تعتمد على شدة استضاءة النقطة المناظرة فى الصورة •

وبما أن الكاثود لا يستجيب للضوء المرئى فحسب بل للأشعة تحت الحمراء أيضا ، فان هذا الأنبوب يمكنه تحويل الصورة غير المرئية المكونة بالأشعة تحت الحمراء الساقطة على الكاثود الضوئى الى صورة مرئية على شاشة الأنبوب •

وبهذا يمكن لشخص مزود بأنبوب من هـذا النوع أن يرى بالليل المنطقة المحيطة به ، بحيث يرى ما حوله كما لو كان ينظـر فى منظـار تجسس فى النهار تقريبا ، ويضاف عادة الى مثل هذه الأنابيب مشعـل صغير يشع شعاعا رفيعا قويا من الأشعة تحت الحمراء •

كما يمكن التليفزيون أيضا من مراقبة الماكينات والآلات من بعيـد أثناء عملها ، وكذلك العمليات المختلفة التى تحدث فى ظروف تمنع وجود الانسان قريبـا منهـا •

فمثلا ، من المعروف جيدا أن العمليات المختلفة التى تحـدث فى المناطق النشطة من المفاعلات الذرية يجب أن تتم بوساطة آليات يتم التحكم فيها من بعيد ، وليس من الملائم دائمـا ملاحظـة هذه الآليات من خلال ثقوب ، وفى هذه الحالات تكون المعدات التليفزيونية عظيمة الفائدة •

وكذلك يمكن ادخال كاميرات التليفزيون الصغيرة فى ثقوب فى الحوائط للكشف عليها ٠

ويمكن لعمال المراقبة فى السكك الحديدية مراقبة أكثر نقاط الاتصال ازدحاما بالاستعانة بالتليفزيون ، وقد تمت تجربة من هذا النوع بنجاح فى نقطة اتصال للسكة الحديدية فى الاتحاد السوفيتى ٠

ومن الاستخدامات القيمة بالنسبة للجراحين ، امكان مشاهدة العمليات التى يقوم بها الاخصائيون المهرة مثل جراحات القلب ، اذ لسوء الحظ ، لا يمكن أن يحضر مثل هذه العمليات الا عدد محدود فى الوقت الواحد ، وهنا يحل التليفزيون المشكلة ، اذ تسلط عدسة كاميرا التليفزيون على مكان العملية ، بينما تشاهد الجماعات من الأطباء وطلبة الطب العملية على شاشات التليفزيون أو على شاشات الاسقاط ٠ وقد اذيعت بالفعل مثل هذه العمليات التى اشترك فيها مركز تليفزيون ليننجراد والكلية الطبية العسكرية فى كيروف منذ يناير سنة ١٩٥٣ ، أما الآن فيستخدم التليفزيون الملون فى نقل العمليات الجراحية ٠

أما عالم المحيطات فان المعلومات عنه قليلة بقدر ما هو هام ، وتستطيع كاميرا التليفزيون اذا وضعت تحت سطح الماء أن تصبح مشاهدا غير طفيلى للحياة فى الأعماق ٠ وبهذا يمكن العثور على السفن الغارقة بأسرع مما يستطيع الغواصون ، ويحكم سد الكاميرا بالنسبة للماء بحيث يمكنها ان تبقى تحت الماء بقدر ما يلزم ٠

وتستخدم الكاميرات التليفزيونية بنجاح فى رفع السفن والطائرات الغارقة ، فيحدد مكان المركبة الغارقة أولا بوساطة كاشفات المعادن ثم تفحص فحصا دقيقا باستخدام كاميرا تليفزيونية ، وتساعد الكاميرا على التأكد من موقعها فى القاع والعثور على الثقوب وفحصها والاشراف على عمليات الرفع ٠ وقد أمكن بهذه الطريقة رفع سفن وطائرات من أعماق وصلت الى ٣٠٠ متر ، الأمر الذى كان مستحيلا بالطرق القديمة ٠

وسيلعب التليفزيون دورا هاما فى رحلات الفضاء التى ستتم فى القريب العاجل ، اذ ستطلق أولى سفن الفضاء بدون طاقم ، ثم بعد استكشاف الكواكب بوساطة التليفزيون والأجهزة الأخرى يمكن للانسان أن يبدأ رحلاته فى الفضاء (★) ٠

(★) وقد بدأ هذا بالفعل ، وكلنا نعرف نتائج أولى التجارب التى صور فيها القمر بالتليفزيون — (المترجم) ٠

الرادار

فيزياء الرادار

توصلت عدة دول الى الرادار فى وقت واحد تقريبا وقامت بتطويره تحت ستار من السرية التامة • فقد بدأ العمل فى هذا المجال فى بداية الثلاثينيات فى الاتحاد السوفيتى ، وفى عام ١٩٣٥ فى الولايات المتحدة وبريطانيا ، وقد كان أول من نجح فى هذا المضمار جماعة من العلمـــاء الســوفيت باشراف ى • ب • كوبزاريف العضــو المراسل فى أكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتى • وكانت هذه الجماعة قد بدأت فى تصميم محطة لتحديد المواقع باستخدام النبضات اللاسلكية فى سنة ١٩٣٥ • وفى بداية الحرب العالمية الثانية كان لدى بريطانيـــا وألمانيـــا والولايات المتحدة محطات رادار أيضـــا •

والرادار سلاح غير عادى • فان محطة الرادار لا تسقط الطائرات بنفسها ، ولا تغرق السفن ، ولا تدمر القدرة الآدمية أو الماكينات ، ولكنها اذا تضامنت مع أى نوع من الأسلحة فانها تعطيه امكانيات جـديدة غير متوقعة •

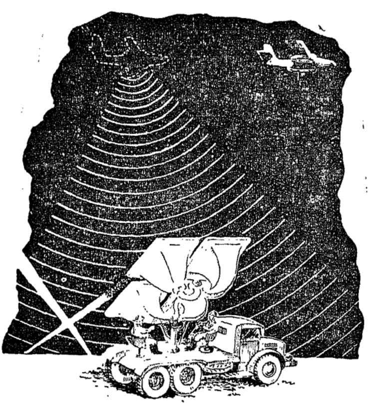
ففى البحر ــ كما فى الجو ــ أدخل الرادار تغييرا جذريا على طـرق القتـال ، لقـــد اضطر الأدميرالات الألمان للاعتراف بأن الرادار حـول الغواصات من صائدة الى ضحايا •

وتحديد المواقع باللاسلكى ، أو الرادار (وهى اختصـــار التعبير الانجليزى الذى ترجمته : (الاكتشاف وتحديد المواقع باللاسلكى) (★) هو وسيلة لتحديد أماكن الأهداف بوساطة الموجات اللاسلكية ، وتستعمل فى هذا المجال أقصر الموجات اللاسلكية ، تلك التى تتراوح بين عدة أمتار الى عدة ديسيمترات بل سنتيمترات •

(★) RAdio Detection And Ranging.

وتشع هذه الموجات هوائيات خاصـــة فى أشعة ضيقة تشبه أشعة الأضــواء الكاشفة • ومن السمات المميزة لجهـــاز ارســـال الرادار أنه لا يرسل الموجات اللاسلكية باستمرار وانمـــا فى نبضـــات قصـــيرة ، ويستقبل جهاز استقبال الرادار الموجات اللاسلكية المنعكسة من الهدف فى الفترات بين هذه النبضات ، وتمكن الموجات اللاسلكية المنعكسة عامل التشغيل من تحديد مكان الهدف ، وفى بعض الأحيان رؤية صـــورته أيضـــا •

ومن المعروف أن ظهور سلاح جديد سرعان ما يكون سببا فى ابتكار الوسائل للتغلب عليه ، فعندما تمكنت الطائرات من الطيران ليلا وفـــوق السحاب ، ظهرت أجهزة لتحديد المكان باســـتخدام الموجـــات الصوتية أمكنها تحديد اتجاه الطائرة غير المرئية ، ولـــكن عنـــدما زادت سرعة الطائرات الى أكثر من ٥٠٠ كيلو مترا فى الساعة ، لم تعد أجهزة تحديد المكان باستخدام الموجات الصوتية صالحة لتحديد مكان الطائرة تحـــديدا صحيحا ، فحتى يصل صوت محركات الطائرة الى هذه الأجهزة تكـــون الطائرة نفسها فى مكان آخر ، وبهذا تكون الطائرة ــ أينما وجدت ــ قد



(شكل ١٧) : يعطى الجهاز الصوتى لتحديد الأماكن بيانا غير صحيح عن مكان الطائرة •

« هربت » بالفعل من صوتها (شكل ١٧) • وبهذا أصبح لزاما استبدال أجهزة تحديد الموقع الصوتية بأجهزة أخرى تعمل طبقا لنظرية مختلفة •

وفى ذلك الوقت ، كانت البحرية تشعر أيضا بحاجتها لطريقة جديدة لتحديد أماكن الأهداف ، بحيث يمكن بوساطتها اكتشاف السفن على مسافات بعيدة وفى الضباب ليلا ونهارا •

وكانت طريقة حل هذه المشكلة قد وجدت ــ من حيث المبدأ ــ منذ زمن طويل ، ولم يجدها سوى مخترع الراديو ألكسندر بوبوف بنفسه • فعندما كان بوبوف يقوم بتجارب على الاتصال اللاسلكى فى خليج فنلندا ، لاحظ أن السفن التى تمر بين جهازى الارسال والاستقبال تغير شدة الاشارة بشكل ملحوظ ، وقد توصل بوبوف فى الحال الى أنه يمكن استخدام هذه الظاهرة فى مراقبة دخول السفن الى الخلجان وحراسة الممرات المائية ، وحيثما كان اكتشاف وجود السفن والأشياء الكبرى الأخرى ضروريا •

وبمضى عدد قليل من السنين على بدء تطوير الهندسة اللاسلكية فى عدد من البلاد ، كانت هناك كثير من براءات الاختراع التى تشرح طرقا مختلفة لاستخدام الموجات اللاسلكية فى الكشف عن السفن • وكانت بعض هذه الطرق مدروسة بتفصيل كبير ، وفى عدد من الحالات قادت الى نفس الأسس الموجودة فى محطات الرادار الحديثة •

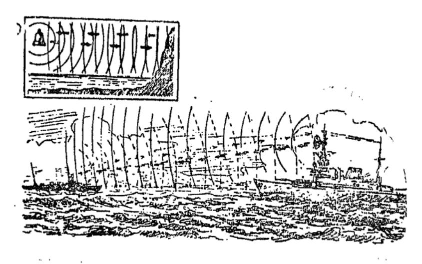
ومع ذلك لم يتمكن الرادار من التطور بالسرعة التى تطورت بها الاتصالات اللاسلكية • وكان هذا نتيجة للعدد الهائل من العقبات الفنية التى واجهت تطوير محطات الرادار •

وسنرى سريعا أن الرادار قد احتاج الى تصميم أنواع خاصة من الصمامات الالكترونية وهوائيات غير عادية وأدوات أخرى خاصة ، ولولا أنابيب أشعة المهبط التى أدخلت عليها التحسينات اللازمة لتفى باحتياجات التليفزيون لما وجد الرادار الحديث •

والآن ، ما هى السمات الأساسية لجهاز الرادار الحديث ؟ •

يشع جهاز الارسال اللاسلكى المعتاد الموجات اللاسلكية فى كل الاتجاهات بنفس الطريقة التى يشع بها المصباح المتوهج الضوء • وبنفس الطريقة ينتشر صوت الصفارة البخارية أو السرينة أو الجرس فى كل الاتجاهات • وينعكس جزء من الموجات اللاسلكية مثلما يفعل جزء من الضوء أو الصوت على الأشياء المحيطة ويعود الى مصدره ، ولكن تكون هذه الموجات المنعكسة ضعيفة جدا ويصعب تمييزها من الاشارات القوية المرسلة •

ومن هـذا استنتج العلماء أنه اذا أريد استقبال الصـدى اللاسلكى (الموجات اللاسلكية المنعكسة من الأشياء المختلفة) بنجـاح ، يجب أن يرسل جهاز الارسال اشارات قصيرة ، أو نبضات ثم يستقبل الصدى فى الفترات التى تمر بين النبضات (شكل ١٨) • ونحن فى الواقع



(شكل ١٨) : صدى الصوت والصدى اللاسلكى •

تقوم بنفس الشىء اذا أردنا الاستماع الى صدى الصوت ، فنصيح أولا ثم ننصت للصدى •

وللعمل بنبضات قصيرة ميزة أخرى ، اذ يمكن لجهاز الارسال الذى يرسل النبضات أن يشع قدرة أكبر بعشرات ، بل مئات المرات مما فى حالة التشغيل المستمر مع الاحتفاظ بنفس حجم الجهاز ووزنه تقريبا •

وحتى تنعكس الموجات اللاسلكية على الهـدف انعكاسا ملحوظا ، يجب أن يكون طولها أقصر من أبعاد الهدف ، وكلما قصر طول الموجة زاد الانعكاس ، اذ تتخطى الموجات الطويلة الأشياء الصغيرة كما تتخطى أمواج البحر المرتفعات الصغيرة والأحجار • ولهذا السبب تتراوح أطوال الموجات المستخدمة فى الرادار من عدة أمتار الى عدة سنتيمترات •

كذلك تعتمد دقة تحديد مكان الهدف المكتشف على طـول الموجـة المستخدمة • فكلما قصر طول الموجة زادت الدقة ، لهذا السبب تستخدم أجهزة الرادار التى تتحكم فى اطلاق المدفعية مثلا الموجات السنتيمترية •

ومن ناحية أخرى يعتمد مدى جهاز الرادار على قدرة جهاز الارسـال فيه ، وليس من السهل الحصول على قدرات عالية للموجات السنتيمترية •

لهذا تستخدم أجهزة الرادار المصممة لاكتشاف الطائرات والسفن من مسافات بعيدة الموجات الأطول (الموجات الديسيمترية أو حتى المترية) حيث لا تكون الدقة العالية مطلوبة ، ولأنه من الأسهل الحصول على قدرات خرج عالية ·

ومع ذلك ، فاكتشاف الاشارة المنعكسة فحسب لا يكفى ، فان هذه الاشارة ـ مثلها فى ذلك مثل صدى الصوت المعتاد ـ لا تبين أكثر من أنه هناك عقبة فى طريق الموجات اللاسلكية أو الصوتية ، ولكن يجب أيضا معرفة مسافة هذا الهدف المكتشف واتجاهه ·

ولتحديد الاتجاه ، نجد أن أحسن الحلول هو تقليد تصميم الضوء الكاشف · فبدلا من أن نسمح للضوء بالانتشار فى جميع الجهات ، يوضع مصدر الضوء أمام مرآة كبيرة (عاكس) تجمع الضوء كله فى حزمة ضيقة ساطعة ·

وكان هذا هو بالضبط ما فعله رجال اللاسلكى ، فقد وضعوا هوائى جهاز الارسال فى مركز (بؤرة) عاكس معدنى كبير على شكل قطع مكافىء، وبهذا أصبحت الموجات اللاسلكية تشع فى شعاع ضيق غير مرئى يحتوى على خرج جهاز الارسال بأكمله تقريبا · وتسير مثل هذه الأشعة فى خطوط تكاد تكون متوازية بدون أن تنتشر على الجوانب ، ونتيجة لهذا يحتفظ الشعاع اللاسلكى ـ مثل شعاع الضوء ـ بدرجة سطوعه الى مسافات بعيدة مما يزيد من قوة الاشارة المنعكسة وبالتالى مدى الجهاز بأكمله ·

ولزيادة المدى أكثر من ذلك ، يوضع هوائى الرادار المخصص لاستقبال اشارات الصدى أيضا فى بؤرة عاكس معدنى كبير ، ويستخدم عادة نفس هوائى الارسال فى الاستقبال ويوصل بجهاز الاستقبال أثناء التوقف عن الارسال ، ويركز العاكس كلّ الموجات اللاسلكية الساقطة على سطحه على الهوائى مثلما تفعل مرآة التليسكوب ، وبهذا تزيد حساسية جهاز الاستقبال عدة مئات من المرات ·

وبملاحظة الاتجاه الذى كان العاكس مشيرا اليه عند استقبال اشارات الصدى ، يمكن تحديد اتجاه طائرة مقتربة مثلا بدقة ·

وبمناسبة الكلام عن العواكس يجب أن نذكر انه اذا أريد الحصول على أشعة ضيقة من الموجات اللاسلكية ، فانه يجب استخدام عواكس تزيد أقطارها كثيرا على أطوال موجات الاشارات التى تشعها المحطة ،

وكلما زاد القطر بالنسبة لطول الموجة قل انتشـار الشعاع الذى تتركز فيه الطاقة المشعة ، ولهذا لم تظهر الهوائيات ذات العواكس الا بعد أن تعلم المهندسون كيفية الحصول على موجات لاسلكية طولها أقصر من متر .

وقد كان قطر العواكس الأولى أربعة أمتار ، استخدمت مع أجهزة الرادار التى كانت أطوال موجاتهـا حوالى ٥٠ سنتيمترا ، وقد كانت الحاجة للحصول على دقة أكبر فى تحديد الوضع الزاوى للطائرات بدون زيادة حجم العاكس أحد الأسباب الرئيسية للانتقال الى موجات أقصر ، اذ سمح هذا باستخدام عواكس أصغر بكثير ، مع الاحتفـاظ بنفس الدقة . فمثلا اذا اريد الحصول على دقة كافية مع استخدام موجـات طولهـا ثلاثة سنتيمترات ، يكفى اسـتخدام عاكس قطره حوالى نصف متر فقط .

وبالطبع لايكون عمليا استخدام عواكس للحصـول على أشـعة متوازية من الموجات اللاسلكية المستخدمة فى منشآت الرادار بعيد المدى الذى يعمل بموجات يزيد طولها على المتر ، لأن العاكس فى هذه الحالة يكون كبيرا جدا ، وهنا تستخدم مجموعات خاصة من الهوائيات تتكون من عدد كبير من هوائيات بسيطة متصلة بعضها ببعض .

ونحن نعلم أن الهوائى المعتاد يشع الموجات اللاسلكيـة فى جميع الاتجاهات ، فاذا رتب عدد من مثل هذه الهوائيات فى مستوى واحـد وعلى مسافات تساوى نصف طول الموجة ثم وصلت بحيث تعمل جميعا « معا » ، فان الموجات اللاسلكية التى تشعها الهوائيات المنفردة يضاف بعضها الى بعض ، ونتيجة لهذا تكون الموجات موجة واحدة مسطحة الشكل تقريبا . وتمتد هذه الموجة المسطحة بدون تشويه ملحوظ ، ولا يحدث انتشار تدريجى للطاقة الا عند حافة الشعاع حيث لا يكون شكل الموجة مسطحا بدرجة كبيرة .

وتسمح طريقة التشغيل بالنبضات بتحديد المسافة بين جهـاز الرادار والهدف بسهولة .

وكلنا نعرف كيف يمكن أن نقدر المسافة بيننا وبين عاصفة رعدية ، فبعد الثوانى التى تنقضى من لحظة أن نرى ومضة البرق الى أن نسمع قصف الرعد ، وضرب عدد الثوانى فى سرعة الصـوت (٣٣٠ مترا فى الثانية) نحصل على بعد البرق .

أما اذا أردنا قياس بعد هدف ما بالاستعانة بصافرة بخارية أو جرس

فيجب أن نضرب سرعة الصوت فى نصف عدد الثوانى التى تنقضى من لحظة ارسال الصوت الى لحظة استقبال الصدى لأن الصوت يقطع المسافة ذهابا وايابا فيستغرق ضعف الزمن .

وينطبق نفس الشيء على الموجات اللاسلكية التى يشعها جهاز الرادار مع فارق واحد هو أن سرعة الموجات اللاسلكية أكبر بملايين المرات من سرعة الصوت ، وبهذا لا تؤثر السرعة العالية للطائرة — التى خدعت محددات المواقع بالموجات الصوتية — على عمل الرادار ، اذ يمكن للموجات اللاسلكية أن تصل الى الطائرة وتعود الى جهاز الاستقبال قبل أن تتحرك الطائرة مترا واحدا عن مكانها الأول .

وبناء على ذلك اذا أردنا تحديد المسافة بين جهاز الرادار والهدف ، فيكفى قياس الجزء من الثانية الذى ينقضى من لحظة ارسال الاشارة الى لحظة استقبال الصدى ثم يضرب نصف هذا الوقت فى سرعة امتداد الموجات اللاسلكية التى تساوى سرعة الضوء ، أى حوالى ٣٠٠٠٠٠ كيلو مترا فى الثانية ، والنتيجة هى بعد الهدف بالكيلومترات مباشرة .

وتختلف مدة دوام كل نبضة وعدد النبضات فى الثانية من جهاز رادار لآخر .

واذا كان جهاز الرادار مصمما للتحكم فى اطلاق نيران المدفعية ، فانه يجب تحديد بعد الهدف فى مدى يتراوح بين عدة عشرات من الكيلومترات الى عدة مئات من الأمتار بدقة فى حدود عدة عشرات من الأمتار . فما هى المتطلبات التى يجب أن يحققها جهاز الرادار المصمم لقياس مسافة ٣٠٠ متر ؟ تقطع الموجات اللاسلكية مسافة ٣٠٠ متر فى جزء من المليون من الثانية ، معنى ذلك أن الزمن الذى ينقضى من لحظة الارسال الى لحظة الاستقبال هو جزئان من المليون من الثانية (تقطع الاشارة المسافة مرتين : ذهابا وايابا) . ولكن بما أنه لايمكن استقبال اشارة الصدى الضعيفة عندما يكون جهاز الارسال عاملا ، فان أجهزة رادار المدفعية تشع نبضات قصيرة جدا تصل فى بعض الأجهزة الى أقل من نصف جزء من المليون من الثانية .

ومن ناحية أخرى ، يجب ألا ترسل النبضة التالية الا بعد أن تعود الأولى من الهدف الموجود عند نهاية مدى الجهاز الذى قد يصل الى ٣٠ كيلومترا بالنسبة لرادار المدفعية ، ذلك اذا أريد تجنب الأخطاء ، وهذه المسافة تناظر جزئين من عشرة آلاف جزء من الثانية ، أما بالنسبة

للرادار المصمم لاكتشاف الطائرات على مسافة تصل الى ٣٠٠ كيلومترا فان زمن عودة الصدى قد يصل الى جزئين من ألف جزء من الثانيـة ، وهذا يعنى أنه يجب ألا يرسل جهاز الارسال نبضات أكثر من ٥٠٠ مرة فى الثانية ، أما فى حالة رادار المدفعية الذى سبق الكلام عنـه فان عدد النبضات لايتجاوز عادة عدة آلاف فى الثانية • ولكنه من السهل أن نرى أن هذا العدد يمكن أن يصل الى خمسة آلاف فى الثانية •

ولقد سبق أن رأينا أن زيادة دقة تحديد الاتجاه تتطلب استخدام موجات لاسلكية أقصر • وباستخدام موجـات أقصر يمكن تصغير أبعاد الهوائى ووزن الجهاز بأكمله ، الأمر الذى يعتبر هاما بالنسـبة لأجهزة رادار الطائرات ، وبالطبع استمر المصممون فى مجهـــوداتهم بلا كلل لتطوير محطات الرادار لتعمل بأقصر موجات ممكنة • وبعد أن استخدمت الموجات التى تصل أطوالها الى ثلاثة سنتيمترات فقط بنجاح فى الرادار، بدأ العمل فى محطات أريد منها أن تعمل بموجات طولها ١ر٢٥ سنتيمترا، ولكن أظهرت الاختبارات أن مدى هذه المحطات كان قصيرا جدا حتى أنه كان أقل بكثير من المدى البصرى كمـــا كان يتوقف الى حـــد كبير على الأحوال الجوية •

وقد أظهرت الأبحـــاث أن السبب فى قصر مدى المحطات العاملة بموجات يقل طولها عن ٩ر١ سنتيمترا كان شدة امتصاص بخار الماء الموجود دائما فى الجو للموجات اللاسلكية فكلما زاد بخار الماء فى الهواء، أى كلما زادت رطوبته ، زاد امتصـاص هـذه الموجات اللاسلكية وقصر مدى محطات الرادار العاملة عليهـا ، ولما كانت الرطـوبة تتغير كثيرا بالتغير فى حالة الجو ، كان مدى محطات الرادار العاملة بهذه الموجـات متغيرا أيضـا •

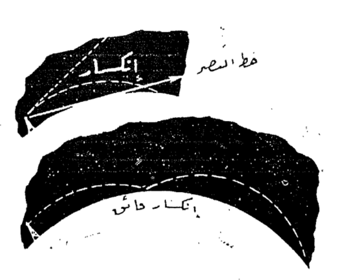
هذا بينما لا يتأثر كثيرا امتداد الموجات اللاسلكية الأطول من تلك ببخار المـاء ويمكن اهمال هذا التأثير فى هذه الحالة • ومع ذلك يمكن أن تتأثر الموجات الأطول بنقط المـاء مثل المطر والسحاب والضباب بدرجة كبيرة • لهـذا يمكن فى بعض الظـروف رؤية السـحاب والعواصـف الممطـرة •

وكثيرا ما يقال ان الموجـات الفائقة القصر ـ وخصوصا الموجات السنتيمترية ـ تمتد فى مدى خط البصر فقط ، مما يحد من مدى محطات الرادار ، ولكن يجب ألا يؤخذ هذا الكلام بحرفيته •

حقا كلما قصر طول الموجات اللاسلكية كانت قوانين امتدادهـــا أقرب لتلك الخاصة بالضوء ، ومع ذلك تتأثر الموجات اللاسلكية تأثرا كبيرا بظاهرة الانكسار ، أى يتشوه مسارها نتيجة لعدم انتظام الجو ، والضوء ينكسر أيضا ، ولكن بينما يمكن غالبا اهمال الانكسار البصرى ، لا يمكن اغفال أمر انكسار الموجات اللاسلكية الفائقة القصر عندما تمتد لمسافات بعيـدة ٠

ونتيجة لعدم انتظام الجو ، لا تمتد الموجات اللاسلكية فى خطوط مستقيمة وانما تنحنى بحيث تبتعد عن سطح الأرض عند الأفق البصرى ، ونتيجة لهذا يمتد مدى محطـات الرادار الى ما وراء الأفق بكثير ، وهكذا يكون الانكسار هو السبب فى أن محطات الرادار البعيدة المدى العاملة بالموجات المترية يمكنها أن تغطى مسافات تصل الى ٣٠٠ كيلو مترا ٠

ويحق لنا الآن أن نسأل ، لماذا تشوه الاضطرابات الجوية مســار الموجات اللاسلكية ، وما هى طبيعة هذه الاضطرابات ؟ ٠ من المعـروف أن الضغط الجوى يتغير حسب الارتفاع ، فيكون الضغط على الجبال أقل بكثير منه عند سطح البحر ، أو بعبــارة أخـرى يكون هواء الجبال أكثر تخلخلا من هــواء الأراضى المنخفضة ٠ وتعتمد سرعة امتــداد الموجــات اللاسلكية على كثافة الوسط الذى تنتقل فيه اعتمــادا كبيرا ، فكلمـــا كان الوسط أكثف قلت سرعة الامتداد (وهذا ينطبق على باقى الموجات المغناطيسية الكهربائية جميعها مثل الضوء المرئى) ٠ وبهذا تكون سرعة امتداد الموجات اللاسلكية فى طبقات الجو العليا أعلى مما هى فى الطبقات



« شكل ١٩) : انكسار الموجات اللاسلكية فى الجو ٠ ويمكن أن تمتد الموجات اللاسلكية الى مسافات بعيدة جدا فى حالات الانكسار غير العادى (الشكل الأسفل) ٠ »

السفلى ، وهـذا هـو السبب فى أن الموجـات اللاسلكية المستخدمة فى الرادار يمكنها أن تصل الى مسافات بعيدة وراء الأفق (شكل ١٩) ٠

وفى بعض الأحيان يسبب الانكسـار ظاهرة غريبة تمكن محطات الرادار من أن تغطى مسافات شاسعة ويكفى هنـا أن نذكر حالتين مما كتب فى الصحف ٠ فكثيرا ما تمكن عمال تشغيل محطـات الرادار فى انجلترا من رؤية الساحل الهولندى على شاشات الرادار ، وكذلك كثيرا ما تستقبل أجهزة الرادار الموضوعة فى الهند الموجات اللاسلكية المنعكسة من الساحل الافريقى ، وقد كانت هذه المسافات الكبيرة لدرجة غـير عادية نتيجة لانكسار الموجات اللاسلكية مع انعكاسها المتكرر على سطح البحر الهـادىء ٠

وتتم هـذه العملية كمـا يأتى : ترتفع طبقات من الهواء الساخن أحيانا من داخل احدى القارات الى أن تصبح فوق طبقات أبرد من الهواء قريبة من سطح البحر ، ونتيجة لهذا تكون كثافة الطبقات العليا من الجو أقل من الطبقات السفلى لا نتيجة للهبوط العادى للضغط البارومترى مع الارتفاع فقط بل أيضا نتيجة لارتفاع درجة حرارة الطبقات العليا ، وهـذا يرفع قيمة الانكسار عن المعتـاد ، فتعود الموجات اللاسلكية التى تشعها المحطة اللاسلكية ــ نتيجة لهذا الانكسار الفائق ــ الى سطح البحر فى أقواس ضيقة نوعا ٠ فاذا كان البحر هادئا وسطحه ناعما بالدرجة الكافية ، تنعكس الموجات اللاسلكية منه كما لو كان مرآة بحيث تعـود ثانية الى الجو ، ويجعلها الانكسار تعود مرة أخرى الى سطح المـاء ويتكرر هذا عدة مرات حتى تصل الموجات اللاسلكية الى الشاطىء فينعكس جزء منها عليه ويعود بنفس الطريقـة مكونا صـورة للسـاحل على شاشـة الرادار ٠ أما اذا كان سطح البحر خشنا فان الانعكاس الصحيح لا يحدث اذ تتفرق الموجات اللاسلكية فى جميع الجهات عند اصطدامها بسطح الماء ويصبح استقبال الرادار من مسافات بعيدة مستحيلا ٠

وتشـبه هذه الظـاهرة الغريبة تلك الظـاهرة البصرية المعروفة بالسراب ، حيث يرى المسافرون فى الصحارى الأشياء التى تقع بعيدا خلف الأفق ، وبالطبع يندر حدوث ذلك الاستقبال البعيد للرادار لأنه يتطلب توزيعا خاصـا لطبقات الهـواء الساخنة والبـاردة وبحرا هادئا نوعا مـا ٠

هذه بعض الفيزيائيات الأساسية للرادار ٠ وهناك أيضا الكثير من الصعوبات الفنية التى كان يجب التغلب عليها قبـل أن يصبح الرادار

ممكنا ، اذ يجب ارسال موجات لاسلكية قوية تتراوح أطوالها بين عدة أمتار الى عدة سنتيمترات ، كما يجب ارسال واستقبال اشارات نبضية قصيرة وكذلك يجب ارسال الموجات اللاسلكية فى شعاع ضيق ويجب ابتكار الوسائل المناسبة لقياس الزمن بأجزاء من المليون من الثانية .

تكنيك الرادار

عرف الفيزيائيون منذ زمن بعيد كيفية انتاج موجات لاسلكية قصيرة جدا ، وقد كان العلماء الروس متقدمين فى هذا المجال بصفة خاصة ، فمنذ حوالى خمسين سنة حصل ب.ن. ليبيديف على ذبذبات مغناطيسية كهربائية طولها ستة ملليمترات ، ومنذ خمسة وعشرين عاما انتجت أ. جلاجوليبنار أركاديفا موجات مغناطيسية كهربائية طولها ٠٣ر ملليمترا فقط ، ولكن كلا العالمين استخدم طريقة الشرارة الكهربائية فى توليد هذه الذبذبات ولهذا كانت الموجات ضعيفة جدا .

وقد ثبت أن صمامات الراديو العادية لا تصلح لتوليد ذبذبات قوية للموجات الديسيمترية والسنتيمترية ، اذ تنخفض قدرة الموجات اللاسلكية الناتجة عن هذه الصمامات بسرعة مع قصر طول الموجة . وسرعان ما اكتشف أن هذا لم يكن نتيجة لعيب فى تصميم الصمامات وانما نتيجة للقوانين التى تؤلف أساس الظواهر التى تحدث فى صمامات الراديو العادية .

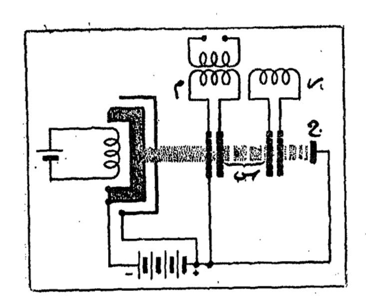
فان الصفة الرئيسية لمدى الترددات فوق العالية هى أن طول الموجة فى هذا المدى يصبح قريبا من الأبعاد الهندسية للدائرة التذبذبية ، وبالاضافة الى هذا يختلف التيار فى الأجزاء المختلفة من الدائرة ويزيد اشعاع الطاقة المغناطيسية الكهربائية منها الى الفضاء بشدة . ويؤثر هذا الفقد الاضافى على التشغيل الطبيعى للمولد ويجعل من المستحيل استخدام الدوائر المؤالفة العادية فى مدى الترددات فوق العالية . لهذا تستخدم نظم تذبذبية خاصة بدلا من الدوائر التذبذبية العادية فى مدى الترددات فوق العالية (ث . ف . ع) ، وهذه النظم اما من النوع متحد المحور أو من نوع التجويف الرنينى ، حيث يكون لكل عنصر من عناصر الدائرة سعة وحث فى نفس الوقت . ومن السمات الرئيسية الأخرى لمدى ث .ف.ع. أن زمن انتقال الالكترونات بين أقطاب الصمام يكون كبيرا بالنسبة لزمن الذبذبة .

لهذا يتطلب توليد ذبذبات ث·ف·ع· صمامات تعمل على أساس يختلف تماما عن ذلك الذى تعمل عليه الصمامات العادية · هـــذه الصمامات هى الماجنسترون والكلايسترون ·

فى سنة ١٩٣٢ اقترح البروفسور د·أ· روجانسكى تصميم اداة تعتمد على التحكم الديناميكى فى مجرى الالكترونات ، وفى سنة ١٩٣٥ وصفت العالمة أ · أرسيفيفا تصميم هذه الأداة ، وقد سميت هذه الأداة الكلايسترون ·

ففى الصمامات العادية يتم التحكم فى تيار الالكترونات على طـول الطريق بين الكاثود والأنود بوساطة المجالات الاستاتيكية الكهربائية · أما فى الكلايسترون فتقوم ظاهرة الانسياق بالدور الرئيسى · ونعنى بالانسياق سير الالكترونات فى الفراغ الخالى من المجالات الكهربائية ·

ويبين (شكل ٢٠) رسما تخطيطيا لهذه الأداة · وفيها يمر تيار الالكترونات الخارج من مدفع الالكترونات خـلال شبكات تؤلف مكثف دائرة التحكم التذبذبية ، وعندما تسلط فلطية مترددة على هذه الدائرة يشحن اللوح الأيمن من هـذا المكثف بشحنة سـالبة فى نصف الدورة الأول بينما يشحن اللوح الأيسر بشحنة موجبة ، والعكس بالعكس فى نصف الدورة الثانى · وبهذا تتباطأ الالكترونات المارة فى المكثف أثناء



(شكل ٢٠) : الرسم التخطيطى للكلايسترون

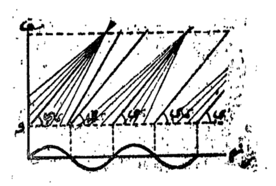
م ـ دائرة التحكم (المعدل) ·   س ـ التجويف الرنينى ·

ج ـ المجمع الذى يوجه الالـكترونات الى دائرة الأنود ·

س ـ حيز الانسياق حيث تتجمع الالكترونات فى مجموعات ·

نصف الدورة الأول بينما تتسارع تلك المارة أثناء نصف الدورة الثانى ، أما الالكترونات المارة فى المكثف فى اللحظة التى يكون فيها فرق الجهد بين الشبكتين صفرا فلا تتغير سرعتها ، وبهذا تلحق بالالكترونات التى تباطأت فى نصف الدورة الأول كما تلحق بها الالكترونات التى تسارعت فى نصف الدورة الثانى ٠

ويمكن توضيح عملية تجميع الالكترونات ذات السرعات المعدلة فى مجموعات بيانيا (شكل ٢١) ٠



(شكل ٢١) : التمثيل البيانى لعملية تجميع شعاع الالكترونات ذات السرعات المعدلة ، ويتناسب ميل الخط المستقيم مع سرعة الالكترون ٠ ويتم التجميع عند تقاطع الخطوط المستقيمة

وبما أن كثافة تيار الالكترونات المار خلال المعدل ثابتة ، فانه يمكن تمثيله بنقط على مسافات متساوية بطول الخط ٠ وكما سبق القول لا تتغير سرعة الالكترونات المارة فى المعدل عندما يكون فرق جهده صفرا ، وتمثل حركتها بخطوط مستقيمة تميل على المحور بزاوية محددة ٠ أما باقى الالكترونات فتكون سرعتها اما أكبر أو أصغر من تلك حسب اتجاه المجال الكهربائى فى لحظة مرورها فى المعدل ، وبالتالى يكون ميل الخطوط المستقيمة التى تمثل حركتها اما أكبر أو أقل ، وكما يرى من (شكل ٢١) تتقارب الخطوط تدريجيا وتتقاطع وهذا يناظر عملية التجميع ٠

وبهذه الطريقة تعدل سرعة تيار الالكترونات المنتظم بعد مروره خلال شبكتى مكثف دائرة التحكم (دائرة التعديل) ، ويستمر فى حركته الى الأمام ولكن على شكل مجموعات منفصلة من الالكترونات ، فاذا لم تكن هناك فلطية تحكم ، يمر تيار مستمر فى المجمع ، أما اذا سلطت فلطية التحكم ، فان مجموعات منفصلة من الالكترونات تمر فى المجمع ، أى تمر نبضات من التيار فى دائرة المجمع ٠

وهذا يعنى أنه يمكن تحويل تيار الالكترونات المستمر الى نبضات من التيار ، ويتوقف تردد هذه النبضات على تردد فلطية التحكم ، فاذا وضعت دائرة تذبذبية أخرى فى طريق تيار الالكترونات المعدل ، فان حزم الالكترونات المارة خلال شبكتيها تولد ذبذبات بنفس ترددها ·

ويجب ملاحظة أن توليد هذه الذبذبات ليس نتيجة لاصطدام الالكترونات بالشبكتين اللتين يكونان مكثف الدائرة الثانية ، بل تتولد هذه الذبذبات نتيجة للشحنات المستحثة فى شبكتى هذا المكثف نتيجة لمرور الالكترونات خلالهما ·

ويمكن للصمام الذى يستخدم طريقة تعديل السرعة أن يعمل أيضا فى نطاق التردد اللاسلكى المعتاد ، ولكن تظهر ميزاته عند الموجات السنتيمترية حيث لا يستطيع الصمام العادى أن يعمل ·

وصمامات تعديل السرعة المخصصة للنطاق السنتيمترى تستخدم الفجوات الرنينية كدوائر موالفة ·

وللحصول على فكرة أوضح عن تشغيل الكلايسترون ، سندرس كيفية تبادل الفعل بين الالكترونات والمجال الكهربائى فى الفجوة الرنينية ·

فاذا تعرض الكترون متحرك فى مجال كهربائى لقوة مضادة من هذا المجال ، فان سرعته تقل وبالتالى تقل طاقته أيضا ، ولكن الطاقة لا يمكن أن تختفى ، لهذا ليس أمامنا الا أن نصل الى أن الطاقة التى فقدها الالكترون لابد أنها انتقلت الى طاقة المجال الكهربائى ، أى أن قوة المجال لابد أنها زادت ، أما اذا تسارع الالكترون نتيجة للمجال ، أى اكتسب طاقة ، فان قوة المجال تقل ·

من هذا يتضح أنه اذا مر تيار من الالكترونات ذو شدة ثابتة فى مجال يتغير دوريا مع الزمن (مثل المجال بين شبكتى فجوة التعديل فى الكلايسترون) فان المجال فى المتوسط لا يفقد طاقة ولا يكتسب طاقة ، اذ أن الطاقة التى يفقدها المجال فى نصف دورة يستعيدها فى النصف التالى ·

ومن هنا نرى أن تعديل سرعة تيار الالكترونات فى الكلايسترون لا يتطلب الا طاقة صغيرة · ويذهب الجزء الأكبر من هذه الطاقة فى تسخين جدران الفجوة الرنينية ·

ولكن يختلف الأمر بالنسبة للفجوة الثانية ، فجوة الاستقبال . فاذا كانت هذه الفجوة على مسافة من المعدل تناظر الخط ف (شكل ٢١) ، فان مجموعات دورية من الالكترونات تمر خلالها ، أى نبضات دورية من التيار بدلا من تيار مستمر .

فاذا كان التردد الطبيعى للفجوة الثانية قريبا من تردد النبضات ، فان ذبذبات تتولد فى الفجوة ، ويضبط طورها أوتوماتيكيا بحيث تكون الطاقة الممتصة من مجموعات الالكترونات أقصى ما يمكن بالنسبة لتصميم الفجوة المذكورة .

ويجب ملاحظة أن الذبذبات المتولدة فى الفجوة الثانية لا تتولد على حساب طاقة المجال المعدل وانما على حساب بطارية الأنود التى تعطى تيار الالكترونات سرعته الابتدائية . وتكون وظيفة المعدل تجميع الالكترونات فى مجموعات ، بدون استهلاك طاقة كبيرة ، بحيث يتحول التيار المستمر غير القادر على توليد ذبذبات فى الفجوة الى تيار نبضى(★) .

وهكذا يمكن — فى الكلايسترون ذى الفجوتين — الحصول على قدرة عالية فى الفجوة الثانية باستهلاك قدرة صغيرة فى دائرة المعدل . وهذا يعنى أن الكلايسترون ذا الفجوتين يمكن أن يعمل كمكبر فى النطاق السنتيمترى .

ولا تقتصر امكانيات الكلايسترون ذى الفجوتين على مقدرته للعمل كمكبر ، فان نبضات التيار الالكترونى فيه غنية بالتوافقيات (★★) ، ولذلك فاذا ولفت الفجوة الثانية على توافق من توافقيات تردد المعدل بدلا من موالفتها على التردد الأصلى ، فان ذبذبات تتولد فيها أيضا . وبهذا يمكن أن يعمل الكلايسترون ذو الفجوتين كمضاعف للترددات .

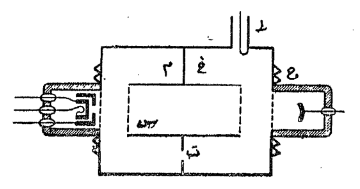
وبالطبع يمكن أن يعمل الكلايسترون كمذبذب ذاتى الاثارة . ولتشغيله هكذا لا نحتاج الا الى دائرة تغذية مرتدة بحيث يغذى جزءا من طاقة الفجوة الثانية للمعدل ثانيا (شكل ٢٢) ويمكن الحصول على التغذية المرتدة بعدة طرق ، مثل استخدام كابل خارجى متحد المحور .

(★) وهذا يشبه الى حد ما عمل الشبكة فى الصمام المفرغ العادى — فبوساطة الشبكة التى تستهلك طاقة صغيرة ، يمكن التحكم فى تيار أنود الصمام ، أى التحكم فى كيفية استهلاك طاقة منبع فلطية الأنود .

(★★) هى الترددات التى تزيد بعدد صحيح من المرات (بدون كسور) على التردد الأساسى . وهو أقل تردد لجهاز الارسال أو المذبذب عالى التردد .

أو باستخدام انشوطة أو مجس أو ثقب يصـــل ما بين الفجوتين كمـا فى (شكل ٢٢) ٠

ولكن على الرغم من جميع هذه الميزات التى يتميز بها الكلايسترون عن الصمامات العادية ، فانه لا يخلو من العيوب ، فانه صعب فى الانتاج والموالفة ٠



(شكل ٢٢) : تصميم مذبذب الكلايسترون ذى الفجوتين ٠
م ـ فجوة المعدل خ ـ فجوة الخرج ت ـ ثقب التغذية المرتدة ٠
س ـ حيز الانسياق ج ـ المجمع ط ـ خرج الطاقة ٠

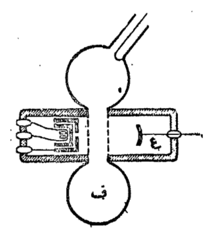
فموالفة تردد كلايسترون ذى فجوتين تتطلب موالفة فجوتين فى وقت واحد ٠ وتتم الموالفة بتغيير حجم كل فجوة ، ويحد تعقيد هـــذه العملية والدقة الميكانيكية العاليـــة المطلوبة من استخدام الكلايسترون ذى الفجوتين ٠ ولا يستخدم هذا الكلايسترون فى الوقت الحـالى الا فى مضاعفة التردد والتكبير ٠

وبالاضافة الى الكلايسترون ذى الفجوتين هناك أيضا الكلايسترون ثلاثى الفجوات والكلايسترون الانتقالى متعدد الفجوات ٠ وتستطيع هذه الأنواع من الكلايسترون أن تولد ذبذبات نبضية ذات قدرات عالية جدا فى نطاق الترددات فوق العالية ٠

ويستخـدم ما يسمى بالكلايسترون الاعتكـاسى فى توليد ذبذبات منخفضـة القدرة فى المدى السنتيمترى ، وقد طوره ن٠ د٠ ديفيياتكوف وف٠ف٠ كوفالنكو (١٩٤٠) ٠

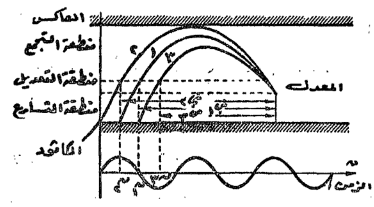
والميزة الأساسية للكلايسترون الاعتكاسى هو أنه يحتاج فى تشغيله الى فجوة واحدة تعمل كفجوة تعديل وفجوة خرج فى وقت واحد ٠

وحتى يمكن أن نجعل الالكترونات تمر مرتين بين شبكتى نفس الفجوة الواحدة يستخدم قطب عاكس • وبعكس مجمع الكلايسترون ذى الفجوتين الذى يتصل هو والفجوتان بالطرف الموجب للبطارية . يجب أن يكون جهد العاكس كبيرا بالدرجة الكافية وسالبا بالنسبة للكاثود • وفى هذه الحالة لاتصطدم الالكترونات التى تكون قد تسارعت فى الحيز الموجود بين الكاثود والفجوة (شكل ٢٣) ومرت خلال شبكتيها بالعاكس بل تتباطأ باقترابها منه تدريجيا ، ثم تتوقف ثم تتسارع عائدة الى الفجوة ، ونتيجة لهذا تعود الالكترونات الى الفجوة بنفس السرعة التى غادرتها بها •



(شكل ٢٣) : تصميم الكلايسترون الاعتكاسى
ف ــ الفجوة ع ــ العاكس

وقد أظهرت التجربة أنه عند قيم معينة للفلطيات المسلطة على أقطاب الكلايسترون (تعتمد على أبعاده) يمكن أن نجعل كل الالكترونات التى تمر بالفجوة أثناء أحد نصفى دورة مجالها (شكل ٢٤) تعود اليهــا



(شكل ٢٤) : التمثيل البيانى لعملية تجميع الالكترونات فى الكلايسترون الاعتكاسى •

معا تقريبا • ويلاحظ أن الكلايسترون الاعتكاسى ـ بعكس الكلايسترون ذى الفجوتين ـ يجمع الالكترونات حول الالكترون الذى يمر خلال الفجوة عندما يكون المجال فيها صفرا أثناء تحوله من مجال تسارع الى مجال تباطؤ (انظر شكلى ٢١ ، ٢٤) •

ومن السهل التوصل الى أن الكلايسترون الاعتكاسى يبدأ فى التذبذب تحت ظروف التشغيل المناسبة بدون أى وسائل مساعدة مثل التغذية المرتدة • فاذا غذى الكلايسترون بالفلطيات الملائمة ، لا يمكن أن يظل تيار الالكترونات فيه ثابتا ، ويولد أصغر تغير عشوائى فى قيمة التيار وكذلك النبضات الكهربائية العشوائية المفاجئة استثارة ذاتية فى الكلايسترون • ويسبب اصغر تغير فى فلطية الفجوة تعديلا فى تيار الالكترونات وتبدأ الالكترونات فى التجمع •

وفى الظروف الملائمة ، تعطى المجموعات المتكونة من الالكترونات كمية معينة من الطاقة للفجوة على حساب بطارية الأنود وبذلك تزيد قيمة فلطية الفجوة التى كانت صغيرة فى البداية ، ونتيجة لهذا تتكون مجموعات أكبر من الالكترونات وتزيد استثارة الفجوة ، وبهذه الطريقة تزيد الذبذبات فى الكلايسترون حتى تتعادل الطاقة المستهلكة من البطارية مع مجموع الطاقة المفقودة فى تسخين جدران الفجوة والطاقة المغناطيسية الكهربائية المشعة منها •••• الخ •

وهكذا نرى أن الالكترونات المتجمعة فى مجموعة واحدة تعطى الفجوة ـ عند عودتها اليها ـ طاقة اضافية على حساب بطارية الأنود التى سارعت الالكترونات فى البداية • وأثناء عودة الالكترونات ، يتم تجميعها بوساطة تعديل سرعة مجموعة الالكترونات الأولى التى خرجت من نفس الفجوة بدون أن تفقد كمية تذكر من الطاقة •

وبهذا نرى أن ميكانية تجميع الالكترونات فى الكلايسترون الاعتكاسى تناظر عملية التغذية المرتدة ، ولهذا لا يحتاج توليد الذبذبات فيه لوسائل اضافية •

ونظرا لأن فجوة الكلايسترون الاعتكاسى تقوم بتعديل الطاقة واستقبالها ، فان موالفته بسيطة للغاية •

ومن السمات الرائعة للكلايسترون الاعتكاسى امكان تغيير تردد التذبذب كهربائيا وذلك بتغيير جهد العاكس تغييرا صغيرا اذ يكفى ـ لتغيير

تردد التذبذب — أن يتغير زمن انتقال الالكترون فى منطقة التجمع قليلا ، وهذا يغير قيمة الفلطية اللحظية للفجوة عند عودة مجموعة الالكترونات • فى منطقة التجمع قليلا ، وهذا يغير قيمة الفلطية اللحظية للفجوة عند عودة مجموعة الالكترونات •

ويعنى هذا أن طور التيار الذى تستحثه مجموعات الالكترونات فى الفجوة سيتزحزح بالنسبة لفلطية الفجوة بقيمة اضافية معينة ، وهذه الزحزحة فى الطور تناظر اضافة مركبتين احداهما ذات طبيعة فعالة والأخرى مفاعلة ، وتسبب المركبة المفاعلة تغيرا فى التردد المولد فى الكلايسترون ، بينما تناظر المركبة الفعالة قدرة اضافية ضائعة فى الفجوة تقلل من اتساع ذبذباته •

هذه الموالفة الالكترونية لتردد الكلايسترون تناظر الى حد ما الارتباط بين التردد وقيمة التغذية المرتدة ، اذ لا ينطبق التردد المولد بوساطة مذبذب صمامى فى الحقيقة على تردد رنين الدائرة الموالفة بل يختلف عنه بمقدار يتحدد من المكونات المفاعلة الاضافية التى تضيفها عناصر المذبذب الأخرى — وخصوصا دائرة التغذية المرتدة — الى الدائرة •

فاذا غيرت التغذية المرتدة ، فان اتساع الذبذبات — الذى يعتمد على قيمة المقاومة السالبة التى تضيفها دائرة التغذية المرتدة — لا يتغير وحده بل يتغير أيضا تردد المذبذب نتيجة للتغير فى قيمة الممانعة المفاعلة المضافة الى الدائرة •

وكما رأينا ، تولد مجموعات الالكترونات العائدة الى الفجوة تيارات فيها ويكون طورها مزحزحا لفلطية الفجوة ، وهذه التيارات تناظر تماما تلك التى تضيفها دائرة التغذية المرتدة الى الدائرة الموالفة فى المذبذب العادى • كما أنها تضيف أيضا مقاومة سالبة ذات قيمة محددة وهى التى تحدد اتساع ذبذبات الكلايسترون وممانعة مفاعلة تحدد الفرق بين التردد المولد وتردد رنين الفجوة •

وبالطبع يكون الفرق النسبى بين التردد المولد وتردد الرنين صغيرا جدا بحيث يقع فى حدود منحنى رنين الفجوة •

وهكذا يكفى تغيير طور رجوع مجموعة الالكترونات الى الفجوة ليتغير تردد ذبذبة الكلايسترون كما يرى من (شكل ٢٤) ، ولهذا الغرض يجب تغيير زمن انتقال الالكترونات فى منطقة التجميع — التى تحدد سرعتها الابتدائية — بتغيير فلطية أنود الكلايسترون وجهد العاكس •

ونتيجة لهذا نرى أن التردد المولد في الكلايسترون لا يعتمد على ثوابت الفجوة فقط بل وعلى هاتين الفلطيتين أيضا ، ويلاحظ أن تأثير تغيير جهد العاكس يزيد كثيرا على تأثير تغيير فلطية الأنود ٠

وقد انتشر استخدام الكلايسترون الاعتكاسى فى الدوائر المختلفة فى معدات النطاق السنتيمترى نظرا لسهولة الموالفة الالكترونية وبساطتها وعولها ، فيستخدم مثـلا كمذبذب محلى فى أجهـزة استقبال الرادار وأجهزة القياس المختلفة والتحليل الطيفى اللاسلكى ٠٠٠ الخ ٠

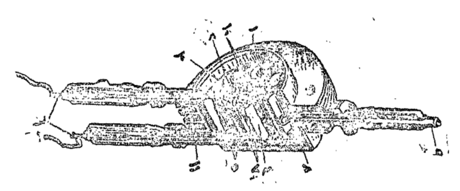
ويمكن استخدام الكلايسترون الاعتكاسى فى مضاعفة تردد الذبذبات أو توليد كسور هذا التردد أيضا ٠

وكمـا فى صمامات الراديو العـادية ، يشارك كل الكترون فى تشغيل الكلايسترون مرة واحدة فقط ٠ ففى الصمام المعتاد ، يمر كل الكترون ــ بعد انقذافه من الكاثود ــ خلال الشبكة ويصطدم بالأنود ، وفى الكلايسترون الاعتكاسى ، يمر الالكترون ــ بعد انقذافه من الكاثود وتسارعه نتيجة لمجال التسارع ــ خلال الفجوة الى منطقـة التجميع ، ثم يمر ثانية فى الفجوة بعـــد أن يطرده العاكس كجزء من مجمــوعة الكترونات ٠

وبهذا الاستخدام لمرة واحدة ، يكون من الصعب نقل جزء كبير من الطـــاقة التى أخـذت من الالكترون من مجال التســـارع الى الذبذبات الكهربائية ٠

وقد وجد العلماء طريقة أخرى للحصول على موجات لاسلكية قصيرة جدا ، فقد ابتكر صمام جديد يسمى الماجنترون يتم التحكم فى تيار الالكترونات فيه بوساطة مجال مغناطيسى مع مجال كهربائى ٠ ونتيجة لاستخدام مجال مغناطيسى يمكن أن يشترك كل الكترون فى توليد الذبذبات الكهربائية عدة مرات ، اذ لا يسمح المجال المغناطيسى الذى تتعامد خطوط قواه مع خطوط المجال الكهربائى للالكترونات بالسير فى خط مستقيم من الكاثود الى الأنود كما قد تفعل بدونه : بل يسير كل الكترون فى الماجنترون فى مســار معقد حول الكاثود قبل أن يصطدم بالأنود ٠ وتكتسب الالكترونات أثناء سيرها فى هذا المسار طاقة من المصــدر الذى يغذى الماجنترون بالتيـار المستمر عالى الفلطية ٠ وعندما تنتقى العلاقات المناسبة بين قيمتى المجالين الكهربائى والمغناطيسى ، تتولد ذبذبات كهربائية فى الماجنترون ، وبتـأثير هـذه الذبذبات ، تتجمع

الالكترونات المنبعثة من الكاثود فى مجموعات تدور حول الكاثود كما تفعل أذرع (برامق) العجل عندما تدور ، وتولد هذه المجموعات — فى دورانها — ذبذبات مغناطيسية كهربائية عالية القدرة فى الفجوات الموجودة فى أنود الماجنترون (شكل ٢٥) ٠



(شكل ٢٥) : تصميم الماجنترون ٠

١ — أنود
٢ — الفجوات الرنينية
٣ — شقوق
٤ — الكاثود
٥ — ماسكات الكاثود
٦ — الجزء الخارجى لمخارج القناة
٧ — شبكات على شكل أقراص
٨ — وصلة اخراج الطاقة
٩ — مخرج الطاقة
١٠ — وصلات ٠
١١ — زعانف لتبريد الأنود ٠

وفى نفس الوقت ، تتحرك موجة مغناطيسية كهربائية فى الفراغ الموجود بين كاثود الماجنترون وأنوده بسرعة تقرب من سرعة دوران مجموعات الالكترونات ٠

وهـــذا يضمن بالطبع تبادل الفعل بين مجموعات الالكترونات والموجة تبـادلا جيدا ، ونتيجة لهذا تتحول الطاقة المستهلكة فى تغذية الماجنترون الى طاقة موجات لاسلكية ، ويتم هذا التحويل بكفاية عالية ٠

وقد وصل طول أقصر الموجات اللاسلكية التى تم الحصول عليها بوساطة الماجنترون الى عدة ملليمترات ٠

وباستخدام وسائل خاصـة ، أمكن الحصـول من الماجنترون على نبضات قصيرة من الموجات اللاسلكية تصل قدراتها الى عدة آلاف من الكيلوات (أى كقدرة محرك طائرة) ٠ وجدير بالذكر هنا أن جهاز الارسال الذى يولد هـذه النبضات القوية جدا لا يزيد فى حجمه عن صندوق الأدراج (الشانون) العادى ٠ وبهذا كان اختراع الماجنترون —

الذى طورت أولى نماذجه التى صنعت فى الاتحـاد السوفيتى على يدى ن٠ف٠ الكسييف و د ٠ ى ٠ مالياروف فى سنة ١٩٣٦ ـ حلا عبقـريا لمشكلة الحصول على الموجات اللاسلكية اللازمة للرادار ٠

وقد أثبت الماجنترون أخيرا أنه لا يصلح فى التوليد فحسب ، بل فى تكبير الذبذبات عالية التردد أيضا ٠

وقد ابتكرت عدة صمامات أخرى للعمل فى مدى الترددات فوق العالية جدا ، وأكثر هذه الأنواع شيوعا هو أنبوب الموجة المتنقلة ٠ وفى هذه الأنابيب ، تتبادل الالكترونات الفعل أيضا مع موجة مغناطيسية كهربائية متنقلة ، وهذه الموجة لا تتحرك فى دائرة كما فى الماجنترون بل على العكس ، تتحرك بطول الأنبوب فى نفس اتجاه سير الالكترونات ، وتجمع الموجة الالكترونات فى مجموعات ، وتولد الالكترونات المتجمعة ذبذبات مغناطيسية كهربائية فى غرفة خرج الأنبـوب وتعطيها طاقتها كلهـا ٠

ويلاحظ أن تبـادل الفعل بين مجمـوعات الالكترونات وموجـة مغناطيسية كهربائية متحركة سمة مشتركة بين الماجنترون وأنبوب الموجة المتنقلة ، الا أن الالكترونات تسير فى أنبوب الموجة المتنقلة فى خطوط مستقيمة وليس فى خطوط منحنية لعدم وجود مجال مغناطيسى مستعرض وحتى تكون كفاية تبادل الفعل بين الالكترونات والموجة كبيرة يجب أن تكون سرعة الالكترونات فى أنبوب الموجة المتنقلة قريبة من سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية ، تماما كما فى حالة الماجنترون ٠

ولكن اذا أريد زيادة سرعة الالكترونات الى أن تصل الى ما يقرب من سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائيـة (سرعة الضـوء) ، لوجب اكسابها طاقات جبارة ، وهـذا يقلل الى حد كبير من كفـاية الصمامات الالكترونية التى تعتمد على تبادل الفعل بين مجموعات من الالكترونات وموجة متنقلة ، ومع ذلك توصل العلماء الى طريقة عبقرية للتغلب على هذه الصعوبة ٠

فبدلا من زيادة سرعة الالكترونات الى سرعة هائلة باستخدام فلطيات عالية جدا ، يمكن ابطاء سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية ، وبالطبع لا يمكن أن نبطىء سرعة موجة مغناطيسية كهربائية فى الفراغ ، كما لا يمكننا فى هذا المجال استغلال تلك الخاصية التى تجعل سرعة الموجات المغناطيسية الكهربائية فى العوازل (مثل الزجاج) أقل منها فى الفراغ ٠ اذ لا يمكن الحصول على مجموعات من الالكترونات عالية السرعة فى عازل ٠

ومع ذلك يمكن أن نبطيء سرعة الموجات المغناطيسية الكهربائية ، ويكفى – لهذا – أن نرسل هذه الموجة فى سلك على شكل حلزون ، اذ بينما تسير الموجة على لفات السلك بسرعة تقرب من سرعة الضوء فى الفراغ ، تتحرك بطول محور الحلزون بسرعة أقل ، وتقل هذه السرعة كلما كانت اللفات قريبة بعضها الى بعض . وبهذه الطريقة يمكن ابطاء سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية المتنقلة بطول محور الحلزون حتى أن الالكترونات التى تتسارع بفعل فلطية لا تزيد على عدة مئات من الفلطات يمكنها أن تتحرك بسرعة الموجة .

ويصل طول أنابيب الموجة المتنقلة التى تعمل فى مدى الموجات السنتيمترية من عشرة سنتيمترات الى ثلاثين . وحتى يمكن أن تسير حزمة الالكترونات الضيقة مثل هذه المسافة بطول محور حلزون ضيق ، يوضع الأنبوب بأكمله داخل ملف مغناطيسى كهربائى على أن يكون فى محور الملف تماما . وينطبق اتجاه المجال المغناطيسى الثابت مع اتجاه المجال الكهربائى داخل الأنبوب (بينما يتعامدان فى الماجنترون) ، وهذا يجعل الالكترونات تسير بطول محور الأنبوب .

ويستهلك المغناطيس الكهربائى اللازم لتشغيل أنبوب الموجة المتنقلة قدرة عالية نسبيا كما يزيد وزنه على وزن الأنبوب نفسه بمئات المرات ، وكذلك يصعب استخدام هذه الأنابيب نظرا لضرورة احكام وضع الأنبوب بطول محور المغناطيس الكهربائى تماما .

وقد طور معهد الهندسة اللاسلكية والالكترونية التابع لأكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتى طرازا جديدا من أنبوب الموجة المتنقلة لا يحتاج الى ملف تركيز بؤرى مغناطيسى . ففى هذا الأنبوب – الذى يسمى السبيراترون – يوضع داخل حلزون التباطؤ وبطول محوره سلك رفيع مشدود ، ويكون جهد هذا السلك أعلى من جهد الحلزون نوعا ما ، فاذا قذف تيار من الالكترونات من مدفع الالكترونات العادى بين الحلزون وهذا السلك بحيث يكون موازيا له ، تسير معظم الالكترونات بسرعة على هذا السلك ، وحتى لا يحدث هذا ، طور المصممون مدفع الكترونات خاص يقذف الالكترونات فى مسارات حلزونية ترتب بحيث تكون بين السلك المركزى وحلزون التباطؤ ، فتمنع القوة المركزية الطاردة الالكترونات من الاستقرار على السلك ويتحرك معظمها بحرية على طول حلزون التباطؤ بأكمله . وقد كان هذا النوع من التركيز البؤرى الاستاتيكى الكهربائى بالقوة المركزية الطاردة سببا فى الارتقاء بصناعة أنابيب الموجة المتنقلة الخفيفة بصورة مرضية يمكن الاعتماد عليها .

وفى نفس الوقت تمكن العلماء والمهندسون من حل مشكلة استقبال هذه الموجات القصيرة المعقدة ٠

وقد كانت مشكلة الحصول على أشعة ضيقة من الموجات اللاسلكية صعبة بصفة خاصة فى السنين الأولى لتطوير الرادار ، عندما كانت أطوال الموجات المستخدمة عدة أمتار ٠ فقد كان تصميم العواكس التى يصل حجمها الى ما يلزم لتجميع هذه الموجات فى أشعة ضيقة خارج امكانيات ذلك الوقت ، فقد كان يجب عليها أن تكون كبيرة جدا وثقيلة وقبيحة الشكل ٠ لهذا كان يجب أن تسير الحلول فى طريق تصميم هوائيات خاصة تصنع بأشكال معقدة تشبه الحصر المعدنية ، وقد تناولنا طريقة عمل مثل هذه الهوائيات من قبل ٠

ولكن عندما صغرت أطوال الموجات كنتيجة لتطور الرادار صغرت أبعاد الهوائيات أيضا ٠ وفى سنة ١٩٣٩ ظهرت أولى منشآت الرادار التى تعمل بموجة طولها ٥٠ سنتيمترا ٠ وقد زودت هذه المنشآت بهوائيات تشبه مرآة مقعرة ضخمة ، وحتى يقل الوزن الى أقصى حد ممكن ، كانت الأسطح العاكسة تصنع — فى بعض الأحيان — من شبكة من السلك بدلا من الألواح المعدنية ٠

أما هوائيات أجهزة الرادار المعاصرة التى تعمل بموجات طولها عشرة سنتيمترات وثلاثة فعبارة عن عواكس معدنية كبيرة على شكل قطع مكافىء تشبه الى حد كبير الأضواء الكاشفة ٠ وهى تشع شعاعا من الموجات اللاسلكية لا يزيد فى عرضه عن شعاع الضوء الكاشف المعتاد ٠ وتخترق هذه الموجات اللاسلكية — بعكس موجات الضوء المرئى — أشد الضباب كثافة وكذلك السحاب والدخان ٠ ولهذا السبب يمكن أن يعمل الرادار فى أى جو ، ليلا أو نهارا ٠

وتمسح الأشعة الضيقة من الموجات اللاسلكية التى يشعها هوائى الرادار الأفق ، ويظهر اتجاه الهوائى على شاشة أنبوب أشعة المهبط بصفة مستمرة ، وبهذا يمكن لعامل الرادار أن يحدد الاتجاه الصحيح الدقيق للهدف الذى يعكس الموجات اللاسلكية ٠

وقد ظل أنبوب أشعة المهبط الذى اخترعه كارل براون سنة ١٨٩٧ لزمن طويل مجرد أداة اضافية مفيدة فى الأبحاث الفيزيائية ، ولكن سرعان ما بلغ أنبوب أشعة المهبط درجة الكمال بمجرد ظهور التليفزيون ، ويمكن الآن أن نؤكد أنه لولا أنابيب أشعة المهبط الحديثة لما كان هناك رادار ٠

فقد كان أنبوب أشعة المهبط بالذات هو الذى ساهم فى حل واحدة من أعقد المشاكل التى واجهت الرادار ، ألا وهى مشكلة قياس الفترات القصيرة جـدا من الزمن بدقة وسهولة • ولهذا الغرض ، تزود ألواح الانحراف الأفقى فى أنبوب أشعة المهبط بفلطية من مولد خاص يسمى مولد المسح • وهذه الفلطية تجعل شعاع الالكترونات يسير بسرعة عبر شاشة الأنبوب من اليسار الى اليمين بحيث يكون خطا متوهجا مستقيما • وعندما يصل شعاع الالكترونات الى الحافة اليمنى ، يعود فى الحال الى الحافة اليسرى ليستأنف حركته فورا •

وهكذا يقوم شعاع الالكترونات بدور « العقرب » السريع جدا فى هذه « الساعة الالكترونيـة » التى تستطيع أن تبين الأجزاء من المليون من الثانية • ويتحرك هذا « العقرب الالكترونى » فى خط مستقيم ، بعكس عقارب الساعات العادية التى تتحرك بسرعة ثابتة على الوجـه المستدير للسـاعة • وهكذا يمـكن اذا قسمنا ذلك الخط الالكترونى حسب مقياس خاص ، أن نحصل على « وجه » أيضا ولكنه مستقيم فى هذه الحالة وليس مستديرا •

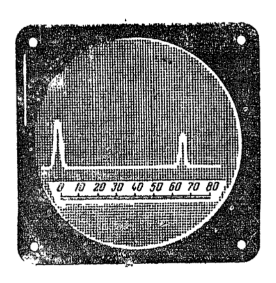
ويتحرك هذا « العقرب الالكترونى » بسرعة كبيرة حتى أن العين لا تلاحقه • وهذا يعنى أنه بدون وسائل خاصة لا يمكن معرفة الوقت بهذه الساعة • وللتغلب على هذه الصعوبة ، قام المهندسون بما يلى :

ضبطت حركة شعاع الالكترونات بحيث تناظر تماما تشغيل جهاز ارسال الرادار • فيبدأ الشعاع حركته فى نفس اللحظة التى ترسل فيها اشارة نبضية • ثم تنتقى سرعة الحركة بحيث يصل الشعاع الى الحافة اليمنى فى نفس الوقت الذى يصل فيه صدى الاشارة المنعكس من الأهداف الموجـودة عند نهاية مدى الجهـاز • وفى لحظة ارسال الاشارة تظهر نبضة ضيقة فى النهاية اليسرى للخط المتوهج على شاشة الرادار • فاذا ظهر هدف فى حدود مدى الرادار ، يسـتقبل جهاز الاستقبال الموجات اللاسلكية المنعكسة منه وتظهر نبضة أخرى أصغر من الأولى على الخط المتوهج •

وبمعرفة سرعة حركة الشـعاع الالكترونى عبر الشـاشة • يمكن حساب الزمن الذى استغرقته الموجة اللاسلكية فى الوصول الى الهدف والعودة بقياس المسافة بين النبضتين •

ولما كانت سرعة الموجات اللاسلكية معروفة ، فانه يمكن تحويل هذا الزمن بسهولة الى بعد الهدف • وتزود شاشة الأنبوب الالكترونى

بمقياس يعطى المسافة بالمتر أو الكيلو متر بالدقة المطلوبة لهذا النوع من الرادار (شكل ٢٦) ٠



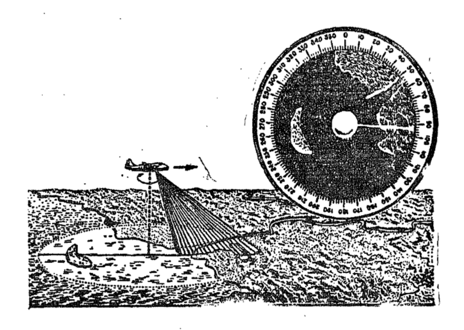
(شكل ٢٦) : شاشة جهاز استقبال رادار وبها مقياس المدى ٠ وتمثل النبضة اليمنى النبضة المنعكسة من الهدف ٠

وبهذا لا يحتاج عامل الرادار الى القيام بأية حسابات ، اذ يمكنه أن يقرأ ــ ببساطة ــ المقياس ليحصل على المسافة المناظرة لمكان النبضة الثانية التى تنتجها اشارة الصدى ٠

ويمكن الرادار المدفعية أن يحدد المسافة بدقة تصل الى عدة أمتار اى أسرع وأدق مما تفعل أجهزة تعيين المرمى البصرية ٠ ولكن لايجاد الهدف بسرعة بالاستعانة بمثل هذا الجهاز الدقيق لتحديد المسافات ، يجب استخدام جهاز تحديد مسافات مساعد له زاوية شعاع أكبر ، تماما كما يفعــل الفلكيون عنــدما يستخدمون منظارا اضافيا ضعيفا لتوجيه التلسكوب الأقوى ٠ وعادة يمكن تشغيل هوائى الرادار بحيث يتحول من البحث بشعاع واسع الى البحث بشعاع ضيق من الموجات اللاسلكية وبالعكس ٠

وقد ظهر أخيرا نوع آخر من الرادار انتشر استخدامه كثيرا ، وهو الذى يسمى رادار بيان الموقع الاسقاطى (شكل ٢٧) ٠ وتدور هوائيات أجهزة الرادار هذه حول محور رأسى باستمرار ، ويمسح شعاعه اللاسلكى الأفق جميعه ٠

ولا يتحرك الشـعاع الالكترونى فى مبين المواقع الاسـقاطى من الحافة للحافة ، وانما من مركز الشاشة الى محيطها ، وفى نفس الوقت يتحرك الخط الذى يرسمه الشعاع ببطء حول مركز الشاشة مثلما يفعل عقرب الساعة • وتكون هذه الحركة مناظرة تماما لحركة هوائى الرادار، بحيث يكون الخط المتـوهج دائمـا فى نفس الاتجـاه الذى يشـع فيه الشعاع اللاسلكى من الهوائى •



(شكل ٢٧) شاشة مبين المواقع الاسقاطى •

وتبين الاشارات المنعكسة على شاشة محطة بيان الموقع الاسقاطى بطريقة تختلف عن المعتاد أيضا •

فهناك دائرة خاصة تمنع خروج الالكترونات من مدفع الالكترونات فى حالة عدم وجود اشـارة صدى وتظل الشاشة مظلمة فيما عدا البقعة التى فى مركزها التى تدل على اشعاع الاشارة وعلى أن الجهاز يعمل ، ويستمر الجزء من الجهـاز الذى يحرك شـعاع الالكترونات من مركز الشـاشة الى حرفها ويديره حولها فى العمل حتى ولو كان شعاع الالكترونات محتجبا • بحيث اذا أطلق الشعاع يظهر فى نفس المكان الذى كان يظهر فيه لو لم يكن محتجبا • وعندما يصل الصدى ، يفتح جهاز الاستقبال الطريق للشعاع وتظهر بقعة متوهجة على الشاشة • وتناظر المسافة بين هذه البقعة ومركز الشاشة بعد الهدف ، بينما يبين مكانها اتجاهه •

ويدور هوائى الرادار فى هذه الحالة ببطء نسبيا ، بحيث يستغرق عدة ثوان لكل دورة . لهذا تكون مراقبة الهدف صعبة وغير مريحة اذا استخدمت أنابيب الصورة التليفزيونية المعتادة فى هذا الجهاز ، اذ لا تظهر البقع المتوهجة التى تبين الهدف الا مرة واحدة ولمدة قصيرة جدا فى كل دورة من دورات الهوائى . وللتغلب على هذه الصعوبة تغطى شاشات أنابيب مبينات المواقع الاسقاطية بمادة فلورية ذات مداومة طويلة بحيث لا تختفى البقعة المضيئة المبينة للهدف حتى يكمل الهوائى دورة كاملة و « يضىء » الهدف ثانية بشعاعه اللاسلكى . وتستقبل الاشارات المنعكسة ثانية وتضىء نفس البقعة على شاشة الرادار اذا ما كان الهدف ثابتا .

أما اذا كان الهدف متحركا ، فان الموجات اللاسلكية تجده فى الدورة الثانية للهوائى فى مكان جديد ، وبالتالى فان بقعة الضوء تتزحزح على الشاشة ، وبهذا تتحرك البقعة المضيئة التى تمثل هدفا متحركا عبر شاشة الأنبوب ويمكن للمشاهد أن يلاحظ حركتها بسهولة .

وبالاضافة الى ظهور بقع الضوء واختفائها وحركتها التى تناظر حركة الأهداف ، تعطى شاشات هذه الأنابيب نوعا من الصورة للأرض المحيطة ، فتظهر جميع الأهداف المعدنية الكبيرة التى تعكس الموجات اللاسلكية جيدا مثل أسطح المنازل والكبارى .. الخ كبقع لامعة بينما تظهر الأهداف التى لا تعكس الموجات اللاسلكية جيدا كبقع معتمة .

واذا وضع جهاز بيان الموقع الاسقاطى فى طائرة ، تظهر على الشاشة خريطة واضحة للأرض التى تطير فوقها الطائرة ، وتظهر الأنهار والبحيرات كخطوط وبقع معتمة ، وتظهر الأرض أكثر لمعانا والغابات أكثر منها وتظهر الأهداف المعدنية لامعة جدا ، وتعتبر مثل هذه الأجهزة أجهزة ملاحية رائعة تمكن الطائرة من الاهتداء بالمعالم الأرضية بالليل وفى الجو الملبد بالغيوم .

وفى سنة ١٩٤٣ ، عندما بدأت الطائرات الانجليزية غاراتها على المانيا ، لم تكن تستطيع الاهتداء الى الهدف فى معظم الأحيان ، بل لم تكن تستطيع الاهتداء الى منطقة الهدف بأكملها نتيجة للتمويه ، وفى هذه الأيام ضاعت معظم القنابل هباء فى الحقول والغابات .

ولكن عندما زودت الطائرات برادار بيان المواقع الاسقاطى ، تمكن الملاحون من العثور على المنطقة والهدف باتباع الأنهار التى كانت تميز

جيدا نظرا لاعتامها على الشاشة وطرق السكك الحديدة التى كانت تميز بلمعانها على الشاشة • فاذا حدث أن كان الهدف قنطرة أو سدا ظهر لامعا بوضوح فى وسط سواد النهر ، كما يمكن رؤية المصانع جيدا نظرا لسطحها المعدنى (★) •

وقد ثبت أن طلاء التمويه وشبكات التمويه وظلام الليل لا حول لها ولا طول أمام « عين الرادار التى ترى كل شيء » ، وقد جعل الرادار الغارات الليلية والقاء القنابل من الارتفاعات العالية مؤثرا بحق ، وغير معركة الهواء لصالح الحلفاء بشدة •

وسنتناول الوسائل المختلفة للقتال باستخدام الرادار فيما بعد ، ولكننا سنتكلم الآن عن التداخل مع تشـــغيل محطات الرادار • وقد استخدمت تلك الظاهرة الفيزيائية المعروفة فى البصريات والصوتيات بظاهرة دوبلر لكبت هذا التداخل ومعادلة الوسائل المضادة للرادار ، وتستخدم نفس الظاهرة أيضا فى تحديد مواقع الأهداف الأرضية المتحركة التى يغطيها انعكاس الموجات اللاســـلكية من الأرض المحيطة بها عند استخدام الطرق العادية •

وظاهرة دوبلر عبارة عن تغير تردد موجات الضوء أو الصوت عندما يكون المراقب أو المصدر متحركا • فاذا كان كل من المراقب والمصدر مقتربا أحدهما من الآخر ، يلتقى المراقب بعدد من الموجات فى الثانية أكبر مما لو لم تكن هناك حركة ، وهذا يعنى زيادة التردد ، أما اذا كان كل من المراقب والمصدر مبتعدا أحدهما عن الآخر فان عدد الموجات المستقبلة فى كل ثانية يقل عما لو لم تكن هناك حركة •

ولا بد أن الكثير ممن يقفون بجوار خطوط السكك الحديدية قد لاحظوا مثالا صوتيا لظاهرة دوبلر ، فاذا اقترب قطار يطلق صافرته من المراقب ، لا تتغير درجة صوت الصفارة بالرغم من أنها تبدو أعلى منها فى القطار غير المتحرك ، وفى اللحظة التى يمر فيها القطار بجوار المراقب ويبدأ فى التحرك بعيـــدا ، تتغير درجة الصـــوت فجأة بحيث تقل نغمتها • وهذا يعنى أن تردد الصوت الذى استقبله المراقب هبط فجأة لأن مصدر الصوت بدأ فى الابتعاد عنه فى هذه اللحظة •

(★) لا تظهر الأسقف المغطاة بالالواح الخشبية لامعة مثل تلك الحديدية ، ومع ذلك يمكن للمراقب المتمرن أن يكتشفها بسهولة •

ولا يلاحظ المراقب الواقف على مسافة كبيرة من السكة الحديدية أى تغير فى درجة الصفارة لأن اتجـاه حركة القطار بالنسبة له لا يتغير كثيرا ٠

وقد تم التأكيد العملى لوجود ظاهرة دوبلر فى البصريات أسـاسا أثناء المشاهدات الفلكية التى أظهرت امكانية استخدام هذه الطريقة فى قياس سرعة النجوم بالنسـبة للأرض ٠ وقد قام بيلو بولسـكى بأول الأبحاث المعملية على هذه الظاهرة فى سنة ١٩٠٠ ثم جوليتسين فى سنة ١٩٠٧ ٠ وقد استخدم بيلو بولسكى مرايا دوارة كمصدر متحرك ، فعندما تتحرك المرآة ، يبدو مصدر الضوء كما لو كان متحركا بسرعة تساوى ضعف سرعة المرآة لأن الطريق الذى يقطعه الضوء من المصدر الى المراقب يقل بسرعة تعادل ضعف السرعة التى تقل بها المسافة من المراقب الى المرآة ٠ وباستخدام تصميم عبقرى للمرآة ، لم يبين بيلو بولسكى ظاهرة دوبلر عمليا فى معمله فحسب بل أكد الأرقام التى تنبأت بها النظرية بدقة كبيرة ٠

ويفسر التكنيك الذى اتبعه بيلوبولسكى طريقة استخدام ظاهرة دوبلر فى الرادار للتفريق بين الأهداف المتحركة والثابتة ، ويناظر هدف الرادار المتحرك المرآة المتحركة ٠

والخلاصـــة أنه نتيجة لظـــاهرة دوبلر ، يختلف تردد الموجات اللاسلكية المنعكسة من الأهداف المتحركة نحو جهاز الرادار أو بعيدا عنه عن ذلك الذى يشعه الجهاز ٠ ويعتمد فرق التردد هذا على النسبة بين سرعة اقتراب الهدف العاكس أو ابتعاده وسرعة الضوء ، ولهذا يكون هذا الفرق صغيرا جدا ولا تستطيع أجهزة الاستقبال اللاسلكية العادية أن تشعر به ، فهى تستقبل الاشارات التى لم يتغير ترددها والمنعكسة من الأهداف الثابتة وكذلك الاشـارات التى تغير ترددها من الأهداف المتحركة فى وقت واحد ٠

وقد ابتكرت أجهزة اسـتقبال خاصة لاسـتغلال ظاهرة دوبلر ، ولا تستقبل هذه الأجهزة ـ نتيجة لاسـتخدام دوائر خاصة ـ الموجات اللاسلكية التى بنفس التردد الذى يشعه جهاز ارسال الرادار والمنعكسة من الأهداف الثابتة ٠ وتمرر هذه الدوائر أساسا الاشارات ذات التردد المختلف بحيث تظهر شاشات رادار دوبلر اشارات الصدى من الأهداف المتحركة أوضح من الاشارات المنعكسة من الأهداف الثابتة ٠

وكانت النتيجة أن ظهرت صور المركبات المتحركة بوضوح على شاشات رادار دوبلر بينما تختلط بصور الأشياء المحيطة بها فى الأجهزة العادية ٠

معركة الرادار

يسبق الاختراعات الكبرى تطور تدريجى فى العلوم والهندسة ، وقد اعتمد الرادار على أسس معروفة كما أنه يستخدم مكونات تنتج فى معظم الدول بكميات كبيرة ، لهـذا لم يكن عجبـا أن يتطور الرادار فى كل الدول الصناعية فى وقت واحد ٠

ففى سنة ١٩٣٩ كان لدى ألمانيا بالفعل حوالى ٦٠٠٠ جهاز رادار تعمل على موجة طولها ٥٠ سنتيمترا ، وفى عملية دنكرك ، أسر الألمان عينات من معظم أنواع الأسلحة الانجليزية ، وكان بينها أجهزة رادار انجليزية تعمل على موجات طولها ٣ ـ ٤ مترا ، فاقتنع الألمان بأن الأنواع الانجليزية أردأ بكثير مما يملكون ، فأوقفوا كل الأبحاث المقصود منها اتقان تكنيك الموجات السنتيمترية ٠

وقد أثبت سير الحرب أن غطرسة جنرالات هتلر كلفتهم غاليا فى هذا المجال أيضا فقد تأخروا فى صناعة الرادار بشكل ميئوس منه ٠

وفى سنة ١٩٣٩ ، سبب تفوق ألمانيا فى الرادار خسارة للانجليز والأمريكيين بلغت ١٠ ـ ١٢٪ من قاذفات القنابل المشتركة فى كل غارة كبرى على ألمانيا ٠ فأصبحت مسألة ايجاد وسيلة لمقاومة الرادار ضرورة ملحة ٠

ثم وجد العلماء طريقة جميلة لتضليل العدو ٠ ففى يوم ما تلقى أحد أسراب قاذفات القنابل أمرا لحمل أثقال من سلاح سرى جديد بدلا من القنابل وذلك قبل غارة من الغارات الكبرى على ألمانيا ٠ وكم كانت دهشة رجال التسليح الذين عملوا فى تعبئة الطائرات عندما وجدوا أن ما طلب منهم أن يضعوه فى الطائرات لم يكن سوى رزم من الورق الخفيف مثل رزم النشرات المطبوعة ٠

وطار السرب الى هدفه ، وقبل اقلاع قاذفات قنـابل الحلفاء الرئيسية ببضع دقائق دوى صوت صفارات الانذار فى معظم مناطق

ألمانيا ، اذ أبلغت عدة محطات للرادار عن عدد ضخم من طائرات الحلفاء تتحرك نحو حوض نهر الرور - أحد المراكز الصناعية الكبرى فى ألمانيا - من عدة جهات ، وقد أبلغ المراقبون فى محطات الرادار عن عشرات الآلاف من الطائرات • ودب الذعر فى القلوب ، وصدرت الأوامر الى الطائرات المقاتلة بالاقلاع لاعتراض الطائرات المغيرة بدون أن تدرى القيادة الألمانية الى أين ترسلها •

وبعد ساعة تقريبا كان الوقود قد نفد من المقاتلات ولم تكن القيادة الألمانية قد فهمت بعد غرض هذه الكميات الضخمة من طائرات العدو، اذ بدلا من أن تطير الى أهدافها مباشرة ، ظلت تحوم ببطء فى الأماكن التى اكتشفت فيها ، وزاد التوتر فى القيادة الألمانية ، وفى هذا الوقت كانت القوات المتحالفة قد اتجهت الى الشمال ووجهت ضربة من أعنف الضربات الى هامبورج • وذهل الألمان ، بينما لم يتكبد الحلفاء أى خسائر تقريبا •

ولم يتضح الأمر الا فى الصباح التالى عندما وجدت أشرطة من الورق ملصق بها رقائق من الألومنيوم على الأرض (*) • فقد أسقطت طائرات الحلفاء كميات كبيرة من هذه الأشرطة ، وأظهرت موجات أجهزة الرادار الألمانية عندما انعكست من هذه الأشرطة اشارات على شاشات الرادار تشبه تلك التى تولدها الأعداد الكبيرة من الطائرات •

وقد أثبتت هذه الوسيلة الجديدة أنها فعالة جدا ، ومنذ ذلك الحين اعتاد الحلفاء أن يسقطوا كميات كبيرة من الورق المغطى بالرقائق المعدنية قبل كل غارة مما يربك الدفاع المضاد للطائرات الألمانى • وكانت الطائرات المتقدمة تسقط أحيانا هذا الورق المغطى برقائق المعدن ، وكان هذا يغطى الطائرات التى تتلوها بما يشبه « شبكة التمويه » ، اذ تولد موجات الرادار المنعكسة من الورق سحبا على شاشات الرادار بسبب هذا الورق المغطى بالرقائق المعدنية لا يستطيع المراقبون أن يروا خلالها الطائرات • وكان نتيجة لهذا أن انخفضت خسائر اسراب قاذفات القنابل بشكل ملحوظ •

ويسمح رادار دوبلر برؤية صور الطائرات المتحركة عبر اشارات التشويش الناتجة من الأشرطة التى تكون عديمة الحركة تقريبا •

(*) بالاضافة الى الورق الملصق به شرائح من الالومنيوم ، تستخدم رقائق من الالومنيوم بكثرة أيضا •

ومن وسائل مكافحة الرادار التى انتشر استخدامها أيضا التشويش على رادار العدو بتشغيل جهاز ارسال بنفس تردد محطة الرادار الخاصة به • فعندما يعمل جهاز الارسال هذا ، لا تستطيع أجهزة الاستقبال التقاط اشارات الصدى الضعيفة لأنها تكون غارقة فى اشارات جهاز ارسال التشويش القوية •

وهناك طريقة أخرى أيضا ، وقد نفذت بالفعل الى حد ما أثناء الحرب ، وهى استخدام طلاء غير عاكس •

فان المواد المختلفة تعكس الموجات اللاسلكية بدرجات مختلفة ، وهناك مواد تعكس الموجات اللاسلكية بضعف شديد ، ولكن يجب أن تكون طبقة المادة الممتصة سميكة نسبيا اذا أردنا أن تكون الكمية المنعكسة صغيرة حقا ، وهذا يجعل استخدام مثل هذه الأغلفة صعبا وهذا هو السبب فى أن هذه الطريقة لم ينتشر استخدامها منذ ذلك الحين •

وبعكس هذه الطريقة تماما ، تستخدم عواكس مصممة تصميما خاصا تعكس صدى قويا ، وبوضع مثل هذه العواكس فى القفار أو على أطواف فى البحيرات يمكن توجيه انتباه قاذفات قنابل الأعداء الى هذه الأهداف المزيفة •

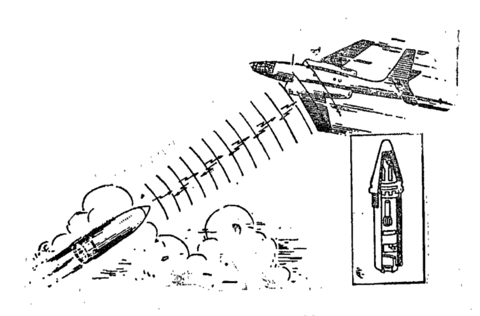
وقد كانت الطائرات المقاتلة محددة بالعمليات النهارية فى بداية الحرب ، وقد كان هذا سببا فى تحول الألمان ــ بعد الخسائر الفادحة التى تكبدوها فى الغارات الجوية النهارية على لندن فى بداية الحرب ــ الى الهجوم الليلى •

ولكن سرعان ما مكن تطوير الرادار من صناعة أجهزة خفيفة وصغيرة للدرجة التى سهلت تركيبها فى المقاتلات • وهنا دارت الدائرة ، فبالاستعانة بالرادار أسقط طيارو المقاتلات قاذفات القنابل ليلا بنفس السهولة التى كانوا يسقطونها بها نهارا ، وبأمان أكثر لأن الطائرات الألمانية ــ التى لم تكن قد زودت بالرادار فى ذلك الوقت ــ لم تكن تستطيع ايذاءهم • وقد وضع ظهور المقاتلات المزودة بالرادار حدا للغارات الجوية الليلية الضخمة على لندن •

ولكن سرعان ما زودت قاذفات القنابل أيضا بأنواع خاصة من الرادار ساعدت المدفعيين فيها على اكتشاف المقاتلات واسقاطها • وهنا بدأت معركة الرادار مع الرادار •

فقد بدأ كلا الجانبين فى تزويد طائراته بأجهزة ارسال خاصة تعمل بنفس موجة رادار الأعداء وتتداخل معها • وقد كسب هذه المعركة أكثرهما مهارة واستعدادا •

وقد قام الحلفاء بجهد ضخم فى مجال الرادار ، ففى نفس الوقت الذى أطلق فيه هتلر « **سلاحه السرى** » ، **الصاروخ ف ــ ١** ، كان لديهم بالفعل جهاز لاسلكى جديد أثبت أنه عدو مميت لهذا الصاروخ • وكان هذا الجهاز غريبا ، **يتكون من مولد لموجات** سنتيمترية موضوع فى قنبلة مضادة للطائرات مع بعض الأجهزة المساعدة • فكانت كل قذيفة تحتوى على خمسة صمامات الكترونية صغيرة ومكونات أخرى ومنبع قدرة وهوائى (شكل ٢٨) • وعندما تقترب القذيفة الى مسافة ١٥ ــ ٢٠ مترا من الطائرة ، تنفجر بفعل هذا الجهاز اللاسلكى أوتوماتيكيا وتغمرها بالشظايا ، وقد زادت فاعليـة المدفعية المضادة للطائرات الى درجة كبيرة عندما أمكن التحـكم فى المدافع بالرادار وزودت القنـابل بالمفجرات اللاسلكية ، ويكفى أن نقول أنه فى نهاية الحرب ، لم يكن يصل الى منطقة الهدف الا أربعة صواريخ من كل مئة •



(شكل ٢٨) ــ الصمامة اللاسلكية

وتعتبر الصمامات الالكترونية وباقى المكونات التى يمكنها أن تتحمل صدمة انطلاق القذيفة العظيمة من معجزات الهندسة حقا •

ومنذ بداية الحرب واجه مهندسو اللاسلكى مشكلة أخرى هامة جدا، فقد كان عليهم أن يجدوا طريقة تميز بين طائرات العدو وطائراتهم الخاصة على شاشة الرادار • ولم يكن هذا ضروريا للقادة فقط كى يراقبوا ويوجهوا المعارك الجوية وانما أيضا ــ وربما بدرجة أكبر من

الأهمية – لمدفعيي المدافع المضادة للطائرات الذين قد يسقطون طائراتهم خطأ • وهذا يسرى أيضا على البحرية •

ولحل هذه المشكلة ، بدأ كلا الجانبين فى تزويد مركباته البحرية وطائراته بمحطات لاسلكية اضافية خاصة منخفضة القدرة • وبمجرد أن تستقبل هذه المحطة اشارات من جهاز ارسال رادار صديق ، تبدأ فى الحال فى ارسال اشارات بتردد خاص للرد عليها ، وتظهر على شاشة الرادار – بجانب اشارة الصدى – اشارة أخرى مميزة • وقد ابتكرت أخيرا أنابيب خاصة تبين اشارة التمييز بلون مختلف عن اشارة الصدى• وقد قللت هذه الأنابيب ذات اللونين الأخطاء المحتملة الى حد كبير وأثبتت سهولة فى التشغيل ، ويبين المثال التالى أهمية تمييز الصديق من العدو • ففى ٧ ديسمبر سنة ١٩٤١ ، هاجمت حاملات الطوربيد وقاذفات القنابل اليابانية القاعدة البحرية الأمريكية فى بيرل هاربور ، فكيف أمكن لهم أن يهاجموا هذه القـــاعدة فجأة بالرغم من أنها كانت مزودة بالرادار ؟ أظهر التحقيق أن مراقبى الرادار اكتشفوا الطائرات المقتربة بكميات كبيرة ، ولكن نظرا لعدم وجود نظام للتعارف عند الأمريكيين فى ذلك الوقت ، فقد افترض المراقبون أن هذه الطائرات طائرات أمريكية تقوم باحدى المنـــاورات ، ونتيجة لهذا لم تحذر القيـــادة من العدو المقترب •

وفى الجزء الأول من الحرب فقدت بريطانيا والولايات المتحدة عددا كبيرا من قاذفات القنابل لا بسبب المدفعية المضادة للطائرات الألمانية ولا بسبب المقاتلات الألمانية ، بل فقد الكثير من قاذفات القنابل أثنـــاء الاقلاع – وبصفة خاصة أثناء الهبوط فى مطاراتها وهذا صحيح ، مهما بدا غريبا •

فليس من السهل ارسال مئات الطائرات بالليل أو فى الضباب من عدة مطارات ، كمـــا أنه ليس من السهل عليهـــا أن تتجمع فى مكان معين ، فاذا كانت الطائرات تقلع بمعدل طائرة كل دقيقتين فان عملية اقلاع ٦٠ طائرة من مطار واحد تستغرق ساعتين كاملتين وهذا يعنى أن تستهلك أول طائرة أقلعت من المطار كمية قيمة من الوقود لأكثر من ساعتين فى التحليق فوق المطار انتظارا لباقى الطائرات •

ويكون الموقف أســـوأ عندما تضطر الطائرة – عند عودتها من العملية بخزانات وقود فارغة تقريبا – الى الانتظار لمدة ساعتين أو ثلاثة اذا كان الجو رديئا حتى تعود الى الأرض • فلا عجب اذن أن اضطرت

الكثير من هذه الطائرات الى « الهبوط اضطراريا » على الغابات والمبانى ... الخ بالليل أو عند وجود ضباب ، كذلك لم يكن من السهل تجنب أصطدام الطائرات بعضها ببعض فى الجو .

وقد ساعد تزويد الطائرات بأجهزة رادار لبيان المواقع الاسقاطية الطيارين على العثور على الأهداف وكذلك مطارات قواعدها بسرعة ودقة، بينما ساعدت أجهزة لاسلكية خاصة على الاقلال كثيرا من عدد الحوادث أثناء الاقلاع والهبوط . والآن يستطيع الطيار أن يقلع ويهبط بالليل وفى الضباب عندما تنعدم الرؤية . ويمكنه أن يقود الطائرة بالعدادات فقط ، بينما يمكن لمجموعة من الأجهزة تشتمل على معدات لاسلكية من نوع الرادار أن تقود الطائرة آليا بدون أى طيارين مع ضمان السلامة الكاملة .

وتحمل قاذفات القنابل الحديثة رقما قياسيا من مختلف أجهزة الرادار والمحطات اللاسلكية . ومن بينهـا أجهـزة رادار توجـه نيران المدافع وأجهزة بيان الموقع الاسقاطى للملاحين وجهاز تصويب للقنابل يمكن من القاء القنابل من فوق – السحاب أو بالليل وأجهزة الاقلاع والهبوط الأعمى وأجهزة لاسلكية لقياس الارتفاع بدقة وتعتمد هذه الأجهزة على انعكاس الموجـات اللاسلكية من الأرض ومحطات لارسـال اشارات تعيين الهوية وأجهزة تحذر الطيار من أن طائرته قد اكتشفت بوساطة رادار الأعداء وأجهزة تبين للطيار أنه قد هوجم من الخلف .

وقد غير ظهور الرادار الطرق التى كانت متبعة للقيام بالعمليات البحرية وحدد بداية المعركة للسيطرة على خطوط المواصلات البحرية .

ففى نهاية الحرب العالمية الأولى ، وقبل أن تدخلها الولايات المتحدة، كانت بريطانيا على وشك الهزيمـة نتيجة للعمليات الناجحة للغواصات الألمانية .

وقد كان نفس الموقف على وشك أن يتكرر فى بداية الحرب العالمية الثـانية عندما فقدت بريطانيا ثلاثة أضـعاف ما يمكن أن تبنيه من السفن . ولكن نتيجة لاستخدام الرادار والتطور الذى حدث فى بناء السـفن ، كان الحلفـاء فى سـنة ١٩٤٣ يبنون من السـفن أضعاف ما يفقدونه .

ويمكن رؤية دور الرادار وأهميته من الأرقام التالية : من الغواصات الألمانية البالغ عددها ١١٧٤ غواصـة غرقت ٧٨٥ وبلغت الخسائر فى الأرواح ٣٦٠٠٠ .

وفى بداية الحرب ، كانت الخسائر فى الغواصات الألمانية طفيفة نسبيا ، وكان هذا نتيجة لأنها لم تكن تطفو لتجديد هوائها الا بالليل فقط حيث لا يمكن أن يراها المراقبون البحريون ولا الجويون ٠

ولكن بمجرد أن زودت طائرات الحلفاء بالرادار ، أصبح من السهل على الطيارين أن يكتشفوا الغواصات الطافية وأن يغرقوها ، سواء بالليل أو فى أية حالة من حالات الطقس ٠ ولمكافحة الرادار ، بدأ الألمان فى تزويد غواصاتهم بأجهزة استقبال يمكنها استقبال نبضات أجهزة الرادار على الطيارين أن يكتشفوا الغواصات الطافية وأن يغرقوها ، سواء بالليل الجوية البريطانية ٠

فبمجرد أن يلتقط جهاز الاستقبال نبضات الرادار التى تدل على اقتراب الطائرة ، تغوص الغواصة فى الحال ، ولما كانت الغواصة تستقبل الاشارة القادمة من الطائرة مباشرة ، بينما تستقبل الطائرة اشارة الصدى الضعيفة المنعكسة من الغواصة ، فقد كانت الغواصة تستطيع أن تكتشف اشارات الرادار على مسافة أبعد بكثير من مدى جهاز الرادار نفسه ، وكان هذا يعطيها الفرصة لتغوص قبل أن تستطيع الطائرة اكتشافها ٠

ولكن بعد أن زودت الطائرة برادار يعمل على موجة طولها ١٠ سنتيمترات ، أصبحت أجهزة الاستقبال المركبة فى الغواصات عاجزة عن استقبال هذه الموجات ، وأصبحت فى الواقع مصدرا للوهم بالأمان، وعادت الغواصات تدمر قبل أن تسنح لها الفرصة للاستعداد للهجوم قبل وقوعه ٠

وعندما زاد قلق الألمان تجاه الخسائر المتزايدة ، أرسلوا غواصة مجهزة تجهيزا خاصا وعليها مجموعة من الفيزيائيين ورجال اللاسلكى الذين توصلوا الى أن الطيران البحرى التابع للحلفاء قد زود برادار طول موجته ١٠ سنتيمترات ٠

وانتهى الخبراء الى أن الطريقة الوحيدة لضمان سلامة الغواصات هى تحريرها من ضرورة الطفو ٠

بعد ذلك زودت الغواصات الألمانية بأنابيب تهوية خاصة (شنوركل) تسمح لها بتجديد هوائها وهى غاطسة تحت الماء ٠ وكان هذا الشنوركل (أو المنخار) يمون الغواصات بالهواء النقى ويخرج غازات عادم ماكينات الديزل الى الهواء الخارجى ٠ وبهذا أصبحت أجهزة الرادار التى كان يمكنها اكتشاف أية غواصة طافية بسهولة عاجزة عن اكتشاف هذه المناخر الصغيرة ٠ وبالاضافة الى هذا زود الألمان غواصاتهم بأجهزة

استقبال يمكنها أن تستقبل اشارات رادار الأعداء الجوى ، وبمجرد سماع هذه الاشارات ، تغوص الغواصة فورا • وعادت الخسائر فى الغواصات للتناقص مرة ثانية •

وبمجهودات العلماء والمهندسين الجبارة ، زودت الطائرات البحرية للحلفاء بأجهزة رادار تعمل على موجة طولها ثلاثة سنتيمترات فقط ، وأصبحت هذه الأجهزة قادرة على اكتشاف أنابيب التهوية فى غواصات الحلفاء من مسافة ١٦ — ٢٠ كيلو مترا ، بينما لا تستطيع أجهزة الاستقبال الألمانية التقاط اشاراتها • وعادت الغواصات مرة أخرى فريسة سهلة للطائرات التى « ترى كل شىء » •

ومرة أخرى أرسل الألمان معملا غائصـــا ولكنه غرق فى اليوم العاشر ، وأسر الحلفاء الشخص الوحيد الذى نجا وكان الفيزيائى المسئول عن المعمل • وبمجرد أن تأكد الألمان من أن الغواصة قد فقدت ، أرسلوا مجموعة أخرى من العلماء ، ولكن هذه الغواصة أغرقت أسرع من الأولى• والى أن انتهت الحرب لم يعرف الألمان أن السبب فى خســائر أسطول الغواصات كان أجهزة رادار تعمل على موجة طولها ثلاثة سنتيمترات •

ولم يقتصر نشاط الرادار على المعركة بين الطائرات والغواصات، فقد زودت كل سفينة حربية بعدد كبير من أجهزة الرادار ، وزود بعضها بأجهزة بيان الموقع الاسقاطى بحيث أصبح الملاح قادرا على رؤية الشاطىء والصــخور وجبــال الثلج والســفن الأخرى المقتربة بالليــل وفى أى طقس •

وقد زودت المدفعية أيضا بأجهزة رادار خاصة ، بعضها لا يختلف عن تلك المستخدمة مع المدفعية المضادة للطائرات ، والبعض الآخر مصمم خصيصا لتوجيه المدفعية كبيرة العيــار • وكانت هذه الأجهزة هى السبب فى اصابة السفينة الحربية الألمانية شارنهورست اصابة مباشرة من أول مجموعة قنابل أطلقت من المدفعية الثقيلة للسفن البريطانية •

وقد سهل العدد الكبير من أجهزة الرادار من جميع الأنواع القيام بهجوم دقيق ومركز وكذلك تنظيم عمليات الاقتراب والنزول على البر • فمن الأمور الواضحة تماما أنه لولا الرادار لما أمكن القيام بعمليات انزال الجنود على البر بأعداد كبيرة ، نظــرا لخطر اصــطدام السفن ببعض والصعوبات التى تواجه نقل الجنود وانزالهم على البر عندما يكون البحر هائجا أو فى المياه الملغمة قرب الشواطىء المحصنة •

وقد خلق عصر النفاثات عددا من المشاكل المعقدة للرادار والملاحة اللاسلكية • فمن المعروف جيدا أن دقة مسار الصواريخ وبالتالى قيمة انحرافها عن الهدف تعتمد أساسا على أول مرحلة فى انطلاقها • لهذا ابتكرت عدة نظم للتحكم فى اطلاق الصواريخ تدخل فى اعتبارها خواص طيرانها •

ولا تقل مشكلة اعتراض صواريخ العدو وتدميرها فى الأهمية عن المشكلة السابقة ، وتزيد السرعات الهائلة للصواريخ عابرة القارات وارتفاعاتها الكبيرة من تعقيد المشكلة أكثر •

ويمكن التغلب على هذه الصواريخ بالاستعانة بصواريخ خاصة يتحكم الرادار فى اطلاقها وتوجيهها • وفى أحد النظم تطلق محطة رادار أرضية صاروخ الاعتراض فى الاتجاه المطلوب أتوماتيكيا بعد تحديد موقع الهدف وسرعته واتجاهه ، وبعد ذلك يقوم جهاز رادار صغير مركب فى صاروخ الاعتراض بالتحكم فى اقترابه من الهدف وتدميره •

وفى بعض النظم الأخرى يزود صاروخ الاعتراض بجهاز استقبال رادار فقط ، وفى هذه الحالة تتبع محطة الرادار الأرضية الهدف بشعاعها بعد تحديد موقعه • ويلتقط جهاز الاستقبال فى صاروخ الاعتراض النبضات المنعكسة من الهدف ويشغل الأجهزة الاوتوماتيكية وبهذا يكون اعتراض الهدف مؤكدا •

وهناك نظم أخرى لا يزود فيها صاروخ الاعتراض برادار ، وفى هذه الحالة تقوم محطة الرادار الأرضى بتتبع كل من الهدف وصاروخ الاعتراض وتوجه الأخيرة أتوماتيكيا نحو الهدف •

الرادار فى زمن السلم

يستخدم الرادار بكثرة فى زمن السلم أيضا ، فهو يراقب الحدود البرية والبحرية بصفة مستمرة ، كما يمكن من استمرار المواصلات الجوية فى جميع حالات الطقس ، مكونا وسيلة يعتمد عليها لتحديد الاتجاه تحديدا مؤكدا وواقيا الطائرة من الاصطدام بالجبال والأبراج العالية والطائرات الأخرى • وهناك أجهزة لاسلكية خاصة تمكن الطائرات من الاقلاع والهبوط أوتوماتيكيا ، وربما تقاد طائرات نقل البضائع فى المستقبل آليا وبدون أفراد •

والرادار يقى السفن عابرة المحيطات المزودة به من التصادم بالسفن الأخرى أو جبال الثلج ، ويمكنها من دخول أى ميناء والابحار منه مجتازة أعقد الممرات البحرية بينما تكون الرؤية منعدمة .

وقد أدخل الرادار نظاما جديدا تماما على وسائل الملاحة ، وهو الملاحة اللاسلكية . فان المشكلة الرئيسية للملاحة ، والتى تعود الى أقدم العصور ، هى تحديد مكان السفينة فى البحار الكبيرة . فان قائد السفينة فى عرض المحيط أو الملاح الجوى الذى لا يستطيع رؤية الأرض لا يجد ما يمكنه من تحديد موقعه . والى عهد قريب كانت الملاحة تعتمد أساسا على البوصلة مع تقدير الموضع بالحساب (★) . وفى هذه الحالة يحدد الملاح مكان السفينة أو الطائرة بالنسبة لآخر علامة رآها على الأرض . واذا كان الجو صحوا يمكن للملاح أن يستعين بالأجرام السماوية وبعض الرصدات الفلكية فى تحديد موقعه . ولكن تحديد الاتجاه بالاستعانة بالحساب وقراءات البوصلة والرصدات الفلكية ليس دقيقا بالدرجة الكافية مما يجعل الابحار أو الطيران طويل المدى خطراً .

وقد لبى تطور تكنيك الرادار كافة الاحتياجات المطلوبة لنظام دقيق للملاحة اللاسلكية . فقبل الحرب العالمية الثانية بوقت طويل ، ابتكر الأكاديميان ل . ى . ماندلستام و ن . د . بابالسكى فى الاتحاد السوفيتى طريقة بديعة لقياس المسافات بالاستعانة بالموجات اللاسلكية، وكانت هذه الطريقة على درجة عالية من الدقة ، وقد فتحت الطريق لمجال جديد لاستخدام تكنيك اللاسلكى ، وهو المساحة اللاسلكية مما مكن من الحصول على درجة عالية من الدقة والكفاية فى العمليات المساحية .

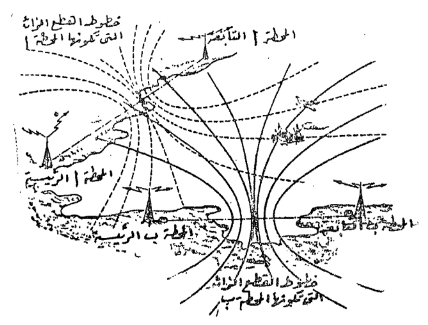
أما فى باقى الدول فلم تبدأ هذه الطريقة الا أثناء الحرب .

وبتطور تكنيك الرادار النبضى ، سرعان ما استخدمت طريقة النبضات فى الأغراض الملاحية أيضا . اذ تستطيع معدات الرادار تحديد الاتجاه والمسافة بدقة وهذا هو كل ما ترجوه الملاحة .

ويشتمل أحد النظم الحديثة للملاحة اللاسلكية على ثلاث محطات

(★) وبالاضافة الى البوصلة المغناطيسية العادية ، هناك أيضا البوصلة الجيروسكوبية وما يسمى بالبوصلة اللاسلكية التى تمكن من تحديد اتجاه المحطة اللاسلكية المستقبلة . ولكن تقل دقة البوصلة اللاسلكية بسرعة بازدياد المسافة بينها وبين محطة الارسال وخصوصا أثناء الطيران فوق أرض جبلية .

لاسلكية تعمل معا وتوضع فى ثلاث نقط تبعد كل منها عن الأخرى عدة مئات من الكيلو مترات· وتزود السفينة أو الطائرة بثلاثأجهزة استقبال كل منها موالف على احدى محطات المقارنة الثلاث · وتغذى الاشارات المستقبلة الى جهاز خاص يقارن بين زمن وصول الاشارة القادمة من أقرب محطة آلية وزمن وصول كل من الاشارتين القادمتين من المحطتين الأخريين ويحدد أتوماتيكيا مكان السفينة أو الطائرة ، وأخيرا يوقع المكان على خريطة (شكل ٢٩) · والدقة فى هذا النظام الملاحى اللاسلكى عالية جدا ، ويمتد مداها الآن الى ألفى كيلو مترا · ومن السمات الهامة لهذا النظام أن السفينة أو الطائرة لا تحتاج لارسال أية اشارات لاسلكية كى تستطيع تحديد موقعها وبالتالى لا تكشف عن وجودها ·

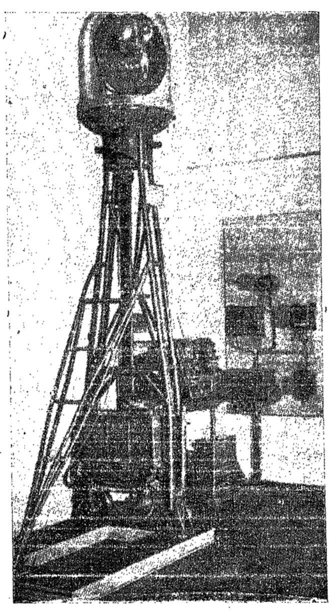


(شكل ٢٩) : خريطة لموقع ما تبين شبكة القطع الزائد لنظام ملاحى لاسلكى ·

وقد ابتكرت أخيرا طريقة تمكن من استخدام محطات التليفزيون الموجودة حاليا فى الأغراض الملاحية · ولهذا الغرض تزود هذه المحطات بأجهزة اضافية بسيطه لضمان التشغيل الجماعى · وبهذا يمكن تزويد الطائرات التى تطير على ارتفاع حوالى ٦٠٠٠ متر وعلى مسافة تصل الى ٦٥٠ كيلو مترا بالوسائل الملاحية بدون مصاريف كثيرة وبدون تداخل مع التشغيل العادى لمحطات التليفزيون · أما السفن البحرية والنهرية فيمكنها استخدام هذا النظام الى مسافة ١٠٠ كيلو مترا فقط ، وذلك بسبب خواص امتداد الموجات اللاسلكية فوق القصيرة التى تكلمنا عنها فى الفصل السابق ·

وتستخدم محطات رادار خاصة بنظام معين يعمل على موجات طولها ثلاثة سنتيمترات فى الأغراض الملاحية بنجاح (شكل ٣٠) ٠ وقد ذكرنا من قبل أن شاشات هذه الأجهزة تعطى صورة للأرض التى تطير فوقها الطائرة أو الشاطىء الذى تقترب منه السفينة ٠ وبمقارنة هذه الصورة بخرائط مجهزة تجهيزا خاصا يمكن للملاح أن يحدد موقعه ويوقع مساره بدقة تقرب من الدقة التى يحصل عليها أثناء النهار ٠

وترتفع كفاءة مثل هذا الجهاز جدا اذا زود الطريق بمنارات لاسلكية



(شكل ٣٠) : محطة رادار مبين للموقع الاسقاطى للسفن ٠

خاصة ، وترسل هذه المحطات المستجيبة اشارات شفرية فقط عندما تستقبل اشارة استفهام من جهاز الرادار من الطائرة ، وتظهر اشارات هذه المنارات بوضوح على شاشات مبينات المواقع الاسقاطية ، مما يمكن الطيار من توجيه الطائرة بدون أى شك فى طريقها الصحيح .

وعندما تقترب الطائرة من المطار بالاستعانة بالمعدات الملاحية المركبة فيها وتدخل منطقة عمل المعدات الأرضية ، تكتشفها محطة تحديد الموقع على بعد ١٠٠ كيلو مترا تقريبا ، ويسأل المراقب الطائرة بالراديو عن هدفها ، فاذا كانت الطائرة متجهة الى مطاره ، يعطيها الاذن بالهبوط ، أو يرسلها الى منطقة الانتظار اذا لم يكن هناك مدرج خال .

وتعتبر لحظة تلامس عجلات الطائرة بالأرض أهم لحظات الطيران ، وبخاصة اذا كانت الرؤية منعدمة . وفى هذه الحالة تتم عملية الهبوط بالاستعانة بمعدات خاصة تحدد ارتفاع الطائرة واتجاهها بدقة عالية .

فاذا لم تكن الطائرة مزودة بأجهزة هبوط أعمى ، ترسل اليها تعليمات الهبوط باللاسلكى من الأرض ، وفى هذه الحالة يحدد المراقب وضع الطائرة بالنسبة للمدرج بوساطة المعدات الأرضية ، واذا انحرفت عن الاتجاه الصحيح أو الارتفاع اللازم ، ترسل التعليمات بالراديو ، وبهذه الطريقة يمكن أن يهبط الطيار بأمان باتباع تعليمات المراقب .

هذا ويمكن أن يفشل هذا النظام فى المطارات الكبيرة المزدحمة ، اذ لا يستطيع المراقب أن يعطى تعليمات لأكثر من طائرة واحدة فى الوقت الواحد . ولهذا السبب تضطر المطارات الكبيرة الى استخدام عدد من المراقبين أو وضع نظام للهبوط حسب الأولوية ، الأمر الذى يسبب ضياع الوقت والوقود .

وبالاضافة الى هذا النظام البسيط للهبوط الأعمى ، هناك عدد من النظم المختلفة للهبوط الأعمى لا تحتاج لمساعدة المراقب . ولكن هذا يتضمن تزويد الطائرة بمعدات خاصة ، وتشتمل هذه النظم على منارة لاسلكية سمتية تحدد اتجاه الهبوط بالنسبة لخط وسط المدرج ، وما يسمى بمنارة مسار الانحدار وتحدد زاوية الانحدار التى تجعل عجلات الطائرة تلمس أول المدرج بنعومة .

وتزود الطائرة عادة بمبين خاص يبين للطيار متى انحرف عن مسار الانحدار المطلوب . ويسمح هذا النظام للطيار أن يهبط بدون أن يرى الأرض .

وتحتوى الأنواع المتقدمة من هذا النظام - علاوة على مبين مسار الانحدار - على معدات هبوط أعمى ترسل الاشارات المناسبة للطيار الآلى . وهذا يعنى امكان الهبوط آليا تماما وبدون أى تدخل من أى انسان .

وحتى بعد أن تهبط الطائرة على المدرج تستمر تحت « حراسة » أجهزة الرادار . ففى المطارات الكبرى ، تقلع الكثير من الطائرات وتهبط فى وقت واحد ، لهذا يجب أن يكون المراقب على دراية مستمرة بالمدارج ومناطق الاقتراب المشغولة ويجب أن يوقت توجه الطائرات الذاهبة الى نقط البداية على المدارج والواصلة الى مناطق التفريغ والانتظار ، وذلك لضمان الأمن والسلامة . ويتم هذا بالاستعانة بأجهزة رادار خاصة قصيرة المدى ذات قوة تحليل عالية تمكن المراقب من رؤية صورة كاملة للمطار بكل ما فيه من طائرات وسيارات الوقود وعربات نقل البضائع .... الخ .

وتزود سفن الأسطول التجارى السوفيتى بأجهزة رادار خاصة طراز « سنفور » و « نبتون » مصممة للأغراض الملاحية . وتمكن هذه المحطات من قيادة السفن فى الظروف الخطرة بالقرب من الشواطىء الخطرة أو قريبا من مداخل الموانى والقنوات كما تساعد على تجنب الاصطدام بالسفن الأخرى وجبال الثلج ، وذلك كله عند انعدام الرؤية .

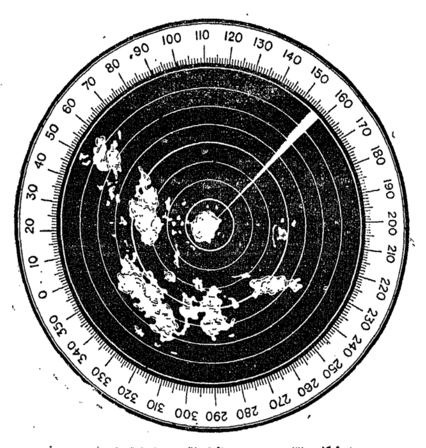
ويمكن استخدام مثل هذه المحطات اللاسلكية أيضا فى الملاحة فى الأنهار الكبيرة والخزانات . فبالاضافة الى المنارات وعلامات ارشاد السفن المعتادة ، يزود الطريق بعواكس رادار تعكس الموجات اللاسلكية جيدا بطول ممر الوصول تماما . وتعمل هذه العواكس بنفس الطريقة التى تعمل بها العواكس الزجاجية المستخدمة فى اشارات المرور فى الطرق الخلوية أو الأضواء الخلفية من السيارات .

وتركب عواكس منشورية الآن فى عوامات شباك الصيد للمساعدة على العثور عليها . كما تركب منارات لاسلكية خاصة صغيرة داخل الحراب المستخدمة فى صيد الحوت لتسهيل العثور على الحوت المقتول .

ومن الأمور الهامة بالنسبة للمواصلات الجوية وكذلك للمواصلات البحرية والنهرية الحصول على تقارير دقيقة فى الوقت المناسب عن الجو ، ولا تكفى فى هذه الحالة التقارير الجوية العادية التى تذكر متوسط درجة الحرارة وحالة السحب والامطار لليوم أو الأسبوع التالى . اذ يجب أن يعرف الطيار أو قبطان السفينة فورا كل المعلومات عن العواصف المقتربة

منه والرياح الهوجاء والأعاصير الحلزونية ومناطق الثلج والسحب ... الخ .

وتمكن أجهزة الرادار الحديثة التى تعمل فى النطاق السنتيمترى من اكتشاف السحب والأمطار على مسافة تصل الى عدة عشرات من الكيلو مترات وتحديد زمن وصول العاصفة أو الاعصار الحلزونى بدقة تصل الى دقيقة (شكل ٣١) .



(شكل ٣١) : سحب العاصفة على شاشة الرادار .

وبهذا يمكن للطيار الذى يقود طائرة مزودة بمثل هذا الرادار ، أن يستعد فى الوقت المناسب لمواجهة الخطر أو تجنبه . وقد أظهرت التجربة أنه يكفى لتجنب عاصفة ما أن تبتعد الطائرة عنها بمسافة ١٠ - ١٥ كيلو مترا وهى أكثر من المطلوب لتحقيق الأمان .

وتساعد هذه المعلومات ، اذا ما أضفيت الى تحديد اتجاه تيارات الهواء وسرعتها بوساطة البالونات التى تتبعها محطات الرادار ، على

زيادة دقة التنبؤات الجوية · وفى بعض الحالات ، يمكن تغذية البيانات الآتية من محطات الرادار وتلك الآتية من الأجهزة الأخرى الى آلة حاسبة الكترونية مباشرة للحصول على تنبؤات جوية لزمن قصير ·

والآن يتخذ الرادار طريقه الى مجالات أخرى من مجالات الهندسة ، ففى سنة ١٩٥٧ زودت بعض السيارات بأجهزة رادار خاصة تشغل الفرامل أوتوماتيكيا عندما تقترب السيارة من جسم أمامها ، وتعتمد قوة الفرملة على معدل الاقتراب من ذلك الجسم ، فمثلا اذا كانت السيارة تتخطى مركبة أخرى ، يبطىء جهاز الرادار سرعة السيارة لتجنب الاصطدام ، وفى نفس الوقت يحذر السائق من الخطر ، ويمكن استخدام معدات مشابهة فى السكك الحديدية ·

ويستخدم الرادار فى الأبحاث أيضا ، ومثال ذلك قياس المسافة الى القمر بالاستعانة بأجهزة رادار خاصة أجريت عليها التعديلات اللازمة لهذا الغرض · وكان أول ما ظهرت امكانية القيام بمثل هذه القياسات فى المرحلة الحديثة من تطور الهندسة اللاسلكية فى سنة ١٩٤٢ على يدى الأكاديميين ل · ى · ماندلستام و ن · و · بابالكسى ، على أساس حسابى · وكانت المسافة الى القمر مقاسة بالطبع من قبل بوسائل فلكية ، ولكن هذه القياسات معقدة جدا · فهى تعتمد على قياس زاويتى نقطة معينة على سطح القمر من نقطتين على الأرض بعيدتين بعدا كافيا والمسافة بينهما معلومة بالضبط · وقد تمكن الفلكيون من تحديد متوسط بعد القمر بدقة بلغت ٢٦ كيلو مترا · وتسمح الطريقة اللاسلكية بقياس هذه المسافة بدقة أكبر ، ولكن المهم هنا بصفة خاصة هو امكان اجراء هذا القياس بسرعة ومن نقطة واحدة على سطح الأرض مما يمكن من مراقبة التغير فى هذه المسافة مراقبة مستمرة · وقد تمت أول تجربة لاكتشاف الموجات اللاسلكية المنعكسة من القمر فى الولايات المتحدة سنة ١٩٤٦ بالاستعانة بجهاز رادار أضيفت اليه تعديلات خاصة لهذا الغرض ·

وسنتناول فى الفصل التالى الفلك اللاسلكى ، وهو علم جديد نشأ أساسا على أكتاف الرادار · وفى هذا الفرع من العلم يستخدم الفيزائيون فى أرصادهم الفلكية هوائيات ضخمة وأجهزة استقبال حساسة ومعدات أخرى ابتكرت للعمل مع الرادار · وكما سنرى ، لا يعتبر الفلك اللاسلكى علما « بحتا » منعزلا ، فان البيانات التى يعطيها لها أهمية كبرى للرادار والاتصالات اللاسلكية وفى الاستعداد لغزو الفضاء ·

الفلك السيارى

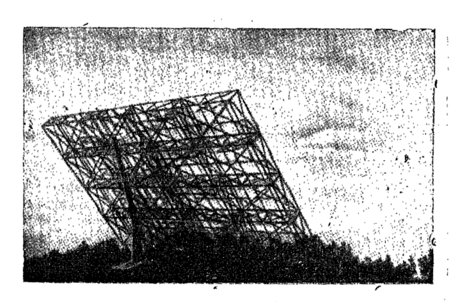
الاشعاع اللاسلكى للشمس

حدث فى بداية الحرب العالمية الثانية ــ فى محطات الرادار التى كانت تحرس الساحل الشرقى لبريطانيا وتعمل بالموجات المترية ــ أن وجد مراقبو الرادار أنفسهم فجأة يواجهون تداخلا غامضا • وبعد أن ظهر مرة ذات صباح ، تكرر ظهوره عدة مرات ، ودائما فى الصباح بطريقة كانت تعوق اكتشاف الطائرات الألمانية القادمة من الشرق ، أما فى باقى النهار فقد كانت أجهزة الرادار تعمل بطريقة طبيعة •

وقد لوحظ أن ذلك التداخل كان يؤثر على جميع محطات الموجات المترية الموجودة على الســـاحل الشرقى فى وقت واحد ، بالرغم من أن بعضها كان بعيدا جدا عن البعض الآخر . وقد كان البريطانيون يخشون أن يكون العدو قد وجد طريقة جديدة للتشويش على أجهزة الرادار • ولكن بعد أن ثبت أن جميع المحطات قد حددت اتجاه التداخل ووجد أنه ينطبق على اتجاه الشمس ، وصل العلماء الى أن الشمس كانت هى مصـــدر هذا التداخل • وقد ذكر فى التقارير السرية عام ١٩٤٢ أن شدة هذا التداخل العالية بشـــكل غير عادى كان لها علاقـــة بالبقع الشمســـية الكبيرة التى لوحظت فى تلك الأيام •

وقد حدثت هذه الملاحظات فيما قبل التاريخ الفلكى اللاســلكى • وظل العلماء لا يعرفون عنها شيئا لزمن طويل ، اذ لم تبــدأ الدراسة المنظمة لذلك الاشعاع القوى بدرجة غير عادية والمرتبط بالبقع الشمسية الا بعد الحرب عندما ظهرت تلك البقعة الضخمة فى فبراير سنة ١٩٤٦ •

وقد كان من رواد تطوير اللاسلكى الفلكى ن • د • بابا لكسى ، فقد أحس تماما بامكانيات ذلك العلم الجديد والآفاق التى فتحها ، فعمل بجد ــ هو ومجمــوعة من المساعدين ــ على ملاحظة الاشعاع اللاسلكى للشمس أثناء الكسوف الكلى الذى حدث فى البرازيل فى ٢٠ مايو سنة ١٩٤٧ •



(شكل ٣٢) : مجموعة هوائى تتكون من ٩٦ ثنائى قطب • وقد انشىء فى قاعدة القرم التابعة لمعهد الفيزياء فى أكاديمية العلوم السوفيتية سنة ١٩٤٩ • ويدور هذا الهوائى فى زوايا السمت والارتفاع ويستخدم فى الرصدات المنتظمة للشمس بموجة طولها ١٫٥ مترا •

وفى أثناء هذا الكسوف ، غطى القمر قرص الشمس تماما لمدة خمس دقائق تقريبا ، ومن النادر مشاهدة مثل هذا الكسوف الكلى الطويل • ومكن هذا من دراسة « السطوع اللاسلكى » لسطح الشمس بسهولة • وقد حرمه الموت المفاجىء فى ٣ فبراير سنة ١٩٤٧ من الاشتراك بنفسه فى هذه الدراسات المنظمة ، ومع ذلك فقد وصلت بعثة سوفيتية من فيزيائيى الراديو يرأسها البروفيسور س • ى • خايكين الى البرازيل فى السفينة « جريبويدوف » وقامت بأول رصدات فلكية لاسلكية تمت أثناء كسوف كلى للشمس وحصلت على بيانات قيمة للغاية عن الاشعاع اللاسلكى للشمس : وقد تمت هذه الرصدات باستخدام الموجات المترية ، واستخدم العلماء السوفيت فيها هوائيا يتكون من عدد كبير من ثنيائيات القطب تشبه هوائيات أجهزة استقبال أجهزة التليفزيون مع أجهزة استقبال رادار مجهزة خصيصا لهذا الغرض (شكل ٣٢) •

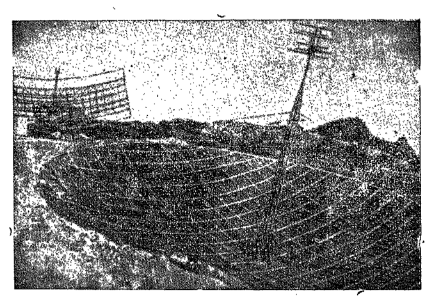
ومنذ ذلك الحين أصبحت كل بعثة مهمتها رصد الكسوف الشمسى تضم ــ بالاضافة الى الفلكيين العاديين ــ لاسلكيين لرصد الاشعاع اللاسلكى للشمس لا على الموجات المترية فحسب بل والديسيمترية والسنتيمترية والمليمترية كذلك • وقد صممت تلسكوبات لاسلكية خصيصا لهذا الغرض سنتكلم عنها فيما بعد • وبالطبع ، لم تعد دراسة الاشعاع اللاسلكى للشمس الآن قاصرة على فترات الكسوف ، بل ان معدات الراديو الحديثة

تسمح بدراسة الشمس فى أى جو من الشروق الى الغروب ، وجدير بالذكر أن تلك الرصدات التى تتم أثناء شروق الشمس وغروبها هى التى أدت الى أقيم البيانات لاعن الشـــمس فحســب بل عن تركيب الغلاف الجوى للأرض أساسا ، اذ وجد أن التليسكوبات اللاسلكية يمكنها أن « ترى » الشمس قبل شروقها بزمن قليل وبعد غروبها بزمن قليل ، وهذا نتيجة لانكسار الموجات اللاسلكية التى تشعها الشمس أثناء مرورها فى جو الأرض • وينكسر ضوء الشمس أيضا بمروره فى جو الأرض ، وتبدو الشمس مسطحة وبيضاوية عند الغروب نتيجة لزيادة انكسار الأشعة باقترابها من الاتجاه الأفقى • وقد عرفنا من قبل شيئا عن الانكسار الذى يزيد من مدى استقبال الرادار والتليفزيون ، ويتم ذلك الانكسار فى الطبقات السفلى من الغلاف الجوى ، ولكن الأبحاث الفلكية اللاسلكية تتناول الانكسار فى الغلاف الجوى بأكمله • ويمكن أن تؤدى الأبحاث على الانكسار الى بيانات عن تركيب الطبقات العليا من الجو (الأيونوسفير) تعتبر هامة بالنسبة لتتبع الأجســـام المرتفعة مثل الأقمار الصـــناعية بالرادار وحل المشاكل الجيوفيزيائية •

كذلك يجب أن يضم تاريخ ما قبل الفلك اللاسلكى الأعمال التى تمت سنة ١٩٣١ • قد لوحظ حينئذ أن شدة التداخل على الموجات التى طولها ١٥ مترا كانت تتغير دوريا أثناء الأربع والعشرين ساعة • وكان الزمن بين أقصى شدة تداخل والتداخل الذى يليه ٢٣ ساعة و ٥٦ دقيقة بالضبط ، أى أن التداخل كان يحدث مرة كل يوم فلكى • وكان معنى ذلك أن مصدر هذا التداخل لم يكن الغلاف الجوى ، ولكنه يأتى من مصدر خارج الكرة الأرضية • وكذلك لا يمكن أن تكون الشمس هى هذا المصدر لأن اليوم الشمسى ٢٤ ســاعة بالضبط • وقد أظهرت الأبحاث أن هذا التداخل الذى لوحظ كان صادرا من مركز المجرة ، من منطقة فى اتجاه كوكبة القوس والرامى •

ولم تذهب الأبحاث أبعد من ذلك الا فى سنة ١٩٤٠ عندما أعيدت نفس التجارب ولكن على موجة طولها ١٨٥ سنتيمترا • وفى هذه المرة سجل الاشعاع اللاسلكى لا من مركز المجرة فحسب بل من درب التبانة بأكمله • وقد كان هذا الاشعاع أضعف بكثير حقا • ويجب اعتبار سنة ١٩٤٤ سنة ميلاد الفلك اللاسلكى • اذ بدأت فى تلك السنة ملاحظة الاشعاع اللاسلكى للشمس والمجرة بانتظام • وقد استخدمت فى البداية هوائيات وأجهزة استقبال الرادار ، ثم بنيت منشـــآت خاصـــة أطلق عليها التليســكوبات اللاسلكية •

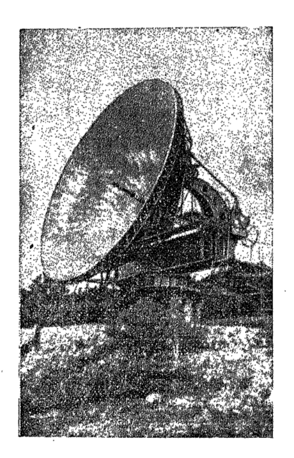
أما الآن فهناك أعداد كبيرة من التليسكوبات اللاسلكية المختلفة ٠ فمنذ حوالى عام ١٩٥١ ، بدأ انشاء تليسكوبات لاسلكية كبيرة جدا فى جميع أنحاء العالم ٠ وكان أبسطها على شكل طاس أرضى كبير (شكل ٣٣) وتصنع بعض التليسكوبات اللاسلكية على شكل عواكس معدنية مثل عاكس الأضواء الكاشفة ولكنها ضخمة ، وهى ليست على درجة عالية من الصقل مثل المرايا الضوئية ، لأن ذلك ليس ضروريا لتجميع الموجات اللاسلكية على هوائى الاستقبال الموضوع فى البؤرة ، ولكنها عادة أكبر فى الحجم من عواكس الأضواء الكاشفة ٠



(شكل ٣٣) مجموعة هوائى ثابت الطاس ، قطره ٣٠ مترا ومبطن بشبكة معدنية ٠

وتختلف أقطار عواكس التليسكوبات اللاسلكية الحالية من مترين الى ٦٥ مترا ، وتدور هذه الأبنية الضخمة على دعامات لا تقل فى قوتها عن عربات المدافع (شكل ٣٤) ويجرى فى الوقت الحاضر تصميم وبناء تليسكوبات لاسلكية أكبر حجما قطر أحدها ٧٦ مترا (ارتفاع بناء من ١٥ طابقا) ويدور على بنيان خاص يضم أبراجا ارتفاعها ٤٠ مترا ، مركبة على عربات تسير على قضبان حديدية دائرية ٠

ويستخدم أحد أنواع التليسكوبات اللاسلكية الأخرى مجموعات كبيرة من هوائيات دوارة مرتبطة بعضها ببعض ٠ وقد مكنت كل من هذه المنشآت المعقدة وعدد من التليسكوبات اللاسلكية البسيطة من الحصول ــ فى زمن قصير ــ على معلومات جديدة عامة أجبرت الفلكيين فى عدد من الحالات على مراجعة معتقداتهم عن العمليات التى تحدث فى الشمس وفى

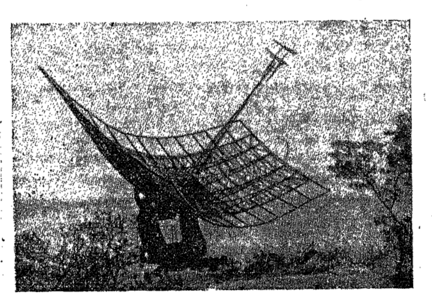


(شكل ٣٤) : عاكس تليسكوب لاسلكى قطره ٧٥ مترا لدراسة الاشعاع اللاسلكى على موجات طولها ١٠ سنتيمترات أو أكثر ٠ وهذا العاكس فى قاعدة القرم التابعة لمعهد الفيزياء بأكاديمية العلوم السوفيتية ٠

النجوم البعيدة جدا وفى السدم ٠ وتستخدم بعض التليسكوبات اللاسلكية ـ مثلها فى ذلك مثل منشآت الرادار ـ هوائيات تمثل جزءا من سطح قطع مكافىء ، ويسميها الخبراء أسطح قشرة البرتقالة المكافئة ٠ وبالطبع لا يمكن أن يحل مثل هذا الجزء محل العاكس الكامل ، كما تكون الطاقة التى يجمعها بالطبع صغيرة ٠ الا انها أخف بكثير من الهوائيات الكاملة وأرخص ٠ والشعاع المنبعث من سطح قشرة البرتقالة المكافىء يكون على شكل مروحة ، واسع جدا فى اتجاه ، وضيق (كالشعاع المنبعث من الهوائى كما لو كان كاملا) فى الاتجاه الآخر ٠

ويعمل اثنان من هذه التليسكوبات بعواكس أبعادها ١٨ × ٨ مترا منذ سنين فى قاعدة القرم التابعة لمعهد الفيزياء بأكاديمية العلوم السوفيتية (شكل ٣٥) ٠

وقد بنى حديثا تليسكوب لاسلكى ذو تصميم مختلف تماما عما سبقه تحت اشراف س · ى · خايكين فى المرصد الفلكى الرئيسى التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية · وقد صنع على شكل قشرة البرتقالة أيضا ، ولكن بدرجة من الضخامة اقتضت أن يصنع من أجزاء متعددة بدلا من لوح واحد · وعندما ينظر المرء اليه ، لا يتمالك أن يذكر تلك القصة القديمة عن كيفية تمكن أرشميدس من حرق أسطول الأعداء دفاعا عن مدينته ، اذ أمر عددا كبيرا من المحاربين أن يسلطوا الضوء المنعكس من دروعهم على نقطة واحدة على احدى سفن الأعداء فى وقت واحد ، اذ أن الألواح المنفصلة التى تكون التليسكوب اللاسلكى الضخم موضوعة الواحدة بجوار الأخرى بنفس هذه الطريقة ، ويمكنها أن تتبع حركة المصدر عندما تخضع للتحكم المناسب · وهناك تليسكوب لاسلكى تحت الانشاء فى الوقت الحاضر يمتد على مسافة كيلومتر ، وهو ضخم بالنسبة الى باقى أنواع التليسكوبات الأخرى ·



(شكل ٣٥) : هوائى جهاز مرسمة الطيف (سبكتروجراف) اللاسلكى · وابعاده ١٨ × ٨ مترا · ويتكون مقياس التداخل اللاسلكى من اثنين من هذا النوع من الهوائيات · ويستخدم فى دراسة تفجر الاشعاع اللاسلكى الشمسى ·

وهناك أيضا تليسكوبات لاسلكية تتكون من عدة هوائيات متباعدة ، ويسمى مثل هذا التليسكوب اللاسلكى بمقياس التداخل اللاسلكى لأنه — مثل مقياس التداخل الضوئى — يستغل الفرق بين طور الموجات الساقطة على الهوائى · وقد سبق أن ذكرنا الهوائيات المتباعدة التى تستخدم للتغلب على الخبو عند استقبال الموجات القصيرة ·

ويجب أن نلاحظ هنا الظروف التى يجب على مصممى التليسكوبات اللاسلكية أن يدخلوها فى اعتبارهم · فنحن نعلم انه يمكننا رؤية الاشارات اللاسلكية الشمسية على شاشات الرادار على هيئة تداخل . وأحيانا يتداخل الاشعاع الشمسى اللاسلكى مع التليفزيون ، فالاشعاع اللاسلكى للشمس والقمر والمصادر الكونية الأخرى لا يحتوى على اشارات مفهومة ، بل انه ـ بكل بساطة ـ تيار من الموجات اللاسلكية تتغير شدته بلا انتظام · فطبيعة الاشارات الناتجة عنه من نفس طبيعة الضوضاء العشوائية · ومن الواضح أن هذه الاشارات تكون عادة ضعيفة جدا ، وغالبا ما تكون شدتها أقل من منسوب الضوضاء الداخلية لأجهزة الاستقبال · ولهذا السبب تتضمن أجهزة الاستقبال فى التليسكوبات اللاسلكية دوائر خاصة يمكنها فصل الاشارات الضعيفة القادمة من المصادر الكونية عن ضوضائها الداخلية ·

فى صفوف العلم

هل يمكن أن يكون هناك استخدام عملى للفلك اللاسلكى ؟ نعم اذ يحدث أحيانا أن يعجز ملاح السفينة أو الطائرة عن تحديد مكانه بالاستعانة بالعلامات الأرضية أو الفنارات اللاسلكية أو بمميزات المنطقة المحيطة به · وفى هذه الحالة يجب أن يعتمد على رصد الشمس أو النجوم ، ولكن ما عساه يفعل فى الجو الملبد بالغيوم عندما تختفى الأجرام السماوية ؟ هنا يهب الفلك اللاسلكى لمساعدته ، اذ تمر الموجات اللاسلكية التى تشعها الشمس والسدم بسهولة خلال السحب ويمكن رصدها فى أى جو · وقد تم تصميم تليسكوبات لاسلكية صغيرة لتركب فى السفن ، وهى تساعد الملاحين على رصد الشمس والقمر لمعرفة مكانهم فى أى جو ، ويمكن تركيب أجهزة مشابهة فى الطائرات الكبيرة · وهذا يجعل السفر بالبحر والجو أكثر أمانا ·

كما يمكن أن تعمل مرايا التليسكوبات اللاسلكية الكبيرة كواحدة من الوسائل الرئيسية للتحكم والاتصالات بالنسبة للسفر فى الفضاء ، اذ تساعد على تحديد مسار سفينة الفضاء وارسال أوامر التحكم اليها واستقبال الاشارات من الأجهزة الأوتوماتيكية وأجهزة ارسال التليفزيون المركبة فى المعامل الفضائية ·

والآن يحق لنا أن نسأل : ما هو الدور الجديد الذى يقوم به الفلك اللاسلكى فى العلم الحديث ؟ بالاضافة الى الكثير من المعلومات عن الاجرام

السماوية وتركيب جو الأرض ، يمكننا الفلك اللاسلكى ـ بعكس الفلك العادى ـ من التنبؤ بالعواصف المغناطيسية وانقطاع الاتصال اللاسلكى قبل حدوثها بيوم ، حتى فى الجو الملبد بالغيوم ٠

وتعتمد كافة أنواع الحيـاة على الأرض على الطاقة التى تستقبلها الأرض من سطح الشمس ، وقد لاحظ الفلكيون اللاسلكيون أن شـــدة الاشعاع اللاسلكى للشمس لا تظل ثابتة ٠ وقد لوحظ أن أقصى شدة لاشعاع الشمس اللاسلكى كانت فى سنة ١٩٤٨ فى نفس الوقت مع قمة النشاط الشمسى ، أى عندما شوهد عدد كبير بدرجة غير عادية من البقع الشمسية وألسنة اللهب الساطعة والتوهجات وما يسمى بحقول اللهب على الشمس ٠ وقد كان أقل نشاط شمسى واشعاع لاسلكى أيضا فى سنة ١٩٥٤ ٠ وحدثت الذروة التالية سنة ١٩٥٩ ، لأن شدة الاشعاع اللاسلكى من الشمس مرتبطة بالنشاط الشمسى الذى يتغير ـ كما أثبت العلماء ـ فى دورة مدتها احدى عشرة سنة ٠

وأثناء فترات الخمول الشمسى ، يظل الاشـــعاع اللاسلكى ثابتا تقريبا لمدة طويلة ومنخفضا بالنسبة لمنسوبه فى فترات قمة النشاط ٠ أما فى فترات قمة النشاط ، فانه قد يتغير بسرعة بحيث يزيد الى مئات وآلاف أضعاف منسوبه المعتـاد فى عدة دقائق ٠ وقد وجـد أن هـــذه الاندفاعات المفاجئة للاشعاع اللاسلكى مرتبطة بالعمليات الضعيفة التى لاحظها الفلكيون منذ زمن طويل ٠ وشدة هذه الاشعاعات المفاجئة كبيرة حتى انها تتداخل تداخلا ملحوظا مع التليفزيون فى بعض الأحيان ٠

والى عهد قريب لم يستطع العلماء أن يروا الا السطح النير للشمس، وهو المسمى بالفوتوسفير ، والطبقات العليا الباردة (نسبيا) من جـو الشمس وهى المسماة بالكروموسفير والطغاوة وهى أبعدها عن الشمس ٠ وبالطبع وضع العلماء النظريون نظـريات مختلفـة عن تركيب جـوف الشمس وهى المسماة بالكروموسفير والطفاوة وهى أبعدها عن الشمس٠ كانت امكانية الحصول على أية بيانات تجريبية عن تركيب الشـــمس ضئيلة جدا ٠

وقد تمكن الفلكيون اللاسلكيون من التقدم خطوة أخرى فى هـذا الاتجاه ، بل انهم تمكنوا من الحصول على صورة لتوزيع السطوع اللاسلكى على سطح الشمس ، أى صورتها اللاسلكية ٠ وللقيام بهذه المهمة كان من الضرورى تصميم هوائى ذى زاوية رؤية ضيقة جدا ، وبوضع ثنائى القطب فى بؤرة التليسكوب (الطاس الأرضى) وامالته قليلا يمينا ويســارا ، جعل العلماء الشعاع الرائى يمسح سطح الشمس ـ حيث كانت ـ مما

مكن من استقبال الاشعاع اللاسلكى لا من سطح الشمس بأكمله وانما من قطاعات صغيرة منه فقط . وقاد ذلك الى اكتشاف عدد من البقع التى تشع بنشاط وتدور مع الشمس . ويميل العلماء للاعتقاد ان هذه البقع مرتبطة بالتشكيلات الطفاوية التى شوهدت بالوسائل البصرية . وبهذا أمكن رسم نوع من الخريطة الاجمالية للشمس .

وبالاستعانة بتليسكوبين لهما قاعدة متغيرة ، تمكن الفلكيون اللاسلكيون من تحديد توزيع السطوع اللاسلكى للشمس . وقد وجد انه يزيد أولا بالابتعاد عن مركزها حتى يصل الى قيمة عظمى عند حافة قرص الشمس ثم يقل بسرعة . وكذلك تمكن الفلكيون اللاسلكيون أثناء دراسة الاشعاع اللاسلكى للشمس من « رؤية » ما كان مختفيا عن أعين الفلكيين البصريين : حلقة ساطعة تحيط بقرص الشمس .

وفى السنين القليلة الأخيرة تم اكتشاف آخر ، زاد كثيرا من معلوماتنا عن تركيب الطفاوة الشمسية ، وكان ذلك بالاستعانة بالفلك اللاسلكى . فقد وجدت طفاوة زائدة « شفافة » للضوء المرئى . وفى الوقت الذى كانت فيه المشاهدات الفلكية تظهر أن طفاوة الشمس تمتد الى مسافة نصفى قطر من مركز الشمس (قطر الشمس ٦٩٥٠٠٠ كيلو مترا) أظهرت المشاهدات الفلكية اللاسلكية أن الطفاوة تمتد الى مسافة ٢٠ الى ٣٠ نصف قطر من مركز الشمس .

وسنذكر الآن كيف تم هذا الاكتشاف .

فى ١٤ ـ ١٥ من يونية كل عام ، تمر الشمس قريبا جدا من سديم كراب الذى يبعد ٥٠٠٠ سنة ضوئية عن الأرض ، وفى هذا الوقت تخسف الشمس هذا السديم .

ولهذا السديم عدد من الخواص التى جذبت انتباه العلماء منذ زمن بعيد ، وبملاحظة الاشعاع اللاسلكى لسديم السرطان أثناء مثل هذا الخسوف ، اكتشف الفلكيون اللاسلكيون أن شدة الاشعاع اللاسلكى بدأت تتغير عندما اقتربت الشمس من هذا السديم بمسافة ٢٠ ـ ٣٠ نصف قطر شمسى . وكانت الفكرة التى نشأت لدى العلماء أن جزءا من الموجات اللاسلكية القادمة من سديم السرطان قد امتص بوساطة بعض التكوينات والاضطرابات غير المرئية . وقد أظهرت المشاهدات أن طبيعة هذه الاضطرابات تتغير مع دورة الأحد عشر عاما ، أى مثل جميع الظواهر المرتبطة بحياة الشمس ، وكان الاستنتاج المنطقى هو أن هذه التكوينات التى تداخلت مع الاشعاع اللاسلكى لسديم السرطان كانت أيضا ذات أصل شمسى .

ماذا يمكن أن تكون هذه العقبات التى أثرت على الاشعاع اللاسلكى، ومع ذلك ظلت « شفافة » للضوء المرئى ؟ استنتج العلماء أن هـذه الاضطرابات تتكون من الكترونات تركت البلازما (الغاز المتأين) وتحركت بطول خطوط قوى المجال المغناطيسى للشمس • وخطوط القوى هـذه تحـافظ على تركيز الالكترونات مثلما تفعـل الخراطيم بالميـاه بحيث تمنع الالكترونات من التفرق والاضطرابات من الانتشار •

وبهذا زودتنا الملاحظـات الفلكية اللاسلكية بمعلومات عما سمى بالطفاوة الزائدة للشمس وتركيبها •

وتدرس المراصد اللاسلكية الحديثة الاشعاع اللاسلكى للشـمس بعدد من التليسكوبات اللاسلكية تعمل على موجات مختلفة الأطوال فى وقت واحد ، وتسجل شدة الاشعاع التى يلتقطها كل جهاز استقبال على شريط مغناطيسى ، لأن العلماء يحبون بالطبع أن يقارنوا بين التسجيلات التى تتم فى وقت واحد بموجات مختلفة • وقد أدى ذلك الى اكتشاف ظاهرة غريبة • فقد وجد انه اذا سجل أحد التليسـكوبات اللاسـلكية اندفاعا مفاجئا فى الاشعاع اللاسلكى ، تظهر هذه الموجة فى التليسكوبات الأخرى . ولكن يسجلها التليسكوب الذى يعمل على أقصر موجة أولا • وكلما طالت موجة التليكسوب تأخر فى تسجيل وصول هذا الاندفاع المفاجىء •

ويبدو هذا للوهلة الأولى غريبا ، لأن الموجات اللاسلكية من جميع الأطوال تمتد فى الفراغ بنفس السرعة (سرعة الضوء) وتستغرق حوالى ثمانى دقائق لتصل من الشمس الى الأرض ، فلماذا اذن تلاحظ الاندفاعات المفاجئة ذات الموجات الأقصر قبل تلك ذات الموجات الأطول ؟

وقد وجد التفسير سريعا ، اذ توصل العلماء اليه كنتيجة للمقارنة الدقيقة بين تسجيلات التليسكوبات اللاسـلكية والارصـاد العادية أو الأفلام المسجلة لسطح الشمس بالتليسكوبات العادية •

يتكون جو الشـمس والطبقـات العليا من سطحها من خليط من الذرات المتأينة والالكترونات الحرة • ويسمى هذا الخليط بلازما (غاز متأين) • وفى أثناء الاضطرابات العنيفة التى يصاحبها ظهور النافورات والاندلاعات على سطح الشمس ، ترتفع كتل من المادة المتوهجة من باطن الشمس الى سطحها ، وعندما تتحرك جزيئات المادة المشحونة كهربائيـا حركة عشوائية فى المجال المغناطيسى للشمس ، تشع موجات لاسلكية • وبهذا تتولد موجات لاسلكية ذات أطوال مختلفة ، ولـكن كلمـا طالت

الموجة قل سمك طبقة البلازما الشمسية التى تستطيع أن تخترقها بدون أن تعانى امتصاصا كبيرا · لهذا يكون أول ما يصل الى سطح الأرض أقصر الموجات التى تستطيع أن تشق طريقها من أعمق طبقات جو الشمس وهى الكروموسفير · وكلما ارتفع الاضطراب الى طبقات أعلى فى بلازما الشمس ، زاد طول الموجات التى يمكنها أن تصلنا ، وبقياس زمن وصول الموجات المختلفة ، يحدد العلماء سرعة امتداد الاضطراب فى جو الشمس · وبهذه الطريقة يمكن أيضا حساب العمق الذى بدأت عنده هذه العمليات، وبهذا تمكن العلماء من الحصول على بيانات عن جو الشمس كان الحصول عليها مستحيلا بطرق البحث الأخرى ·

وتتجاوز أهمية هذه المعلومات مجرد العلم بها ، فقد وجد انه بعد حوالى ٢٤ ساعة من حدوث الاندفاعات المفاجئة الشديدة فى الاشعاع الشمسى اللاسلكى ، تحدث اضطرابات عنيفة فى الاتصالات اللاسلكية على الأرض ، وعلى الموجات القصيرة على وجه الخصوص ·

وقد تأكد أن هذه الاضطرابات ناتجة عن الدقائق المشحونة التى تولد اشعاعا شمسيا لاسلكيا قويا أثناء خروجها من باطن الشمس ، ثم تستمر فى الفضاء الى أن تصل الى الأرض · وعندما تخترق هذه الدقائق الطبقات العليا من جو الأرض ، تسبب تأينا شديدا فيها ، أشد بكثير من المعتاد ، ويصاحب التغيرات السريعة فى التأين ظاهرة الشفق القطبى الساطع والعواصف المغناطيسية التى تحدث اضطرابا فى الاتصـــالات اللاسلكية ·

وجدير بالذكر أنه يمكن بالحســاب البسيط معرفة سرعة هــذه الدقائق فى الفضاء الخارجى ، اذ تصل الى الأرض بعد حوالى ٢٤ ساعة من الموجات اللاسلكية ، وهذا يعنى أن سرعتها أقل ١٨٠ ــ ٢٠٠ مرة من سرعة الضوء أى حوالى ١٢٠٠ كيلو مترا فى الثانية ·

النجوم اللاسلكية

ليست الشمس ودرب التبانة المصادر الوحيدة للاشعاع اللاسلكى القوى ، فان كثيرا من السدم التى تبعــد عن الأرض مســافات سحيقة (من السدم القريبة الينا سديم أندروميدا ، وهــو يبعــد عنا مســافة ١٥٠٠٠٠٠ سنة ضوئية) مصادر اشعاع لاسلكى أيضا ، وتقرب شــدة اشعاعها من شدة اشعاع الشمس · ويتكون مثل هــذا السديم من عدة

ملايين من النجوم · ويشبه الاشعاع القادم من هذه النجوم فى طبيعته اشعاع الشمس ، ويضاف اليه الاشعاع الناتج عن حركة الغاز الكونى ·

وللاشعاع اللاسلكى المنبعث من بعض السدم الغازية طبيعة غريبة ، اذ لا يتكون السديم من نجوم بل من غازات مخلخلة · وبالمقارنة بسجلات فلكيى العصور الوسطى والبيانات المسجلة فى المخطوطات الصينية القديمة ، أمكن التوصل الى أن بعض هذه السدم موجود فى المكان الذى كان فيه نجم لامع توهج ثم لمع لزمن قصير نسبيا ثم انطفأ ، وتتكون هذه الأجرام المنيرة التى تسمى النوفا وزميلاتها الأكثر سطوعا والتى تسمى السوبرنوفا نتيجة لانفجارات ضخمة حدثت عندما توهج فجأة نجم ضعيف لا تراه العين المجردة ، ثم تناثر فى الفضاء على شكل سحابة مخلخلة من غازات تأخذ فى البرودة ، وهذا هو ما يسمى بالسديم · ويتولد الاشعاع اللاسلكى لمثل هذا السديم نتيجة للحركة السريعة العشوائية للالكترونات التى انطلقت أثناء الانفجار ·

وأحد هذه المصادر سديم على شكل السرطان البحرى ويرى بالتليسكوبات القوية كنجم معتم صغير · وقد لاحظ الفلكيون أثناء مشاهدة هذا السديم أن الضوء المنبعث منه لم يكن بنفس الشدة فى جميع الاتجاهات ، اذ تصل شدة الضوء الى أقصاها فى المستوى الموازى للمحور الرئيسى المتجه الى أقصى امتداد للسديم ، وتقل شدة الضوء بالانحراف عن هذا الاتجاه حتى ولو بدرجات قليلة · ولم يسبق للعلماء أن شاهدوا مثل هذا الاستقطاب الخطى فى أى مصدر كونى آخر ·

وقد جرب الفلكيون اللاسلكيون تليسكوباتهم مع سديم السرطان أيضا ، فاكتشفوا ظاهرة غريبة نوعا ما ، اذ اتضح أن الاشعاع اللاسلكى لسديم السرطان كان أشد كثيرا من ضوئه ·

وقد وضع العالمان السوفيتيان شكلوفسكى وجينزبورج نظرية تفسر هذه الظاهرة · وتقول هذه النظرية ان السبب فى هذا الشذوذ قد يرجع الى الكترونات « غير مرئية » للفلكيين البصريين تتحرك بطاقة كبيرة جدا فى مجالات السديم المغناطيسية الضعيفة ، وتولد اشعاعا لاسلكيا قويا نتيجة لتباطؤها بفعل هذه المجالات ، ولكن تتطلب هذه النظرية أن يكون الاشعاع اللاسلكى مستقطبا استقطابا خطيا كالضوء المنبعث من هذا السديم ·

ولزمن طويل لم يتمكن الفلكيون اللاسلكيون من اكتشاف هذه الظاهرة · فقد كان الاستقطاب المتوقع صغيرا جدا ، ولا عجب اذا كانت جودة المعدات المستخدمة قد لعبت دورا عظيما ·

وحديثا جدا اكتشفت الظاهرة المتوقعة على موجة طولها ١٠ سنتيمترات ٠ وثبت أن الاشعاع اللاسلكى لسديم السرطان مستقطب أيضا وفى نفس المستوى المستقطب فيه الضوء ، ولكن بدرجة أقل ٠

وبهذا عززت المشاهدات الفلكية اللاسلكية نظرية منشأ الموجات اللاسلكية فى السديم الغازى ، وهذا يؤكد أيضا افتراضا نظريا هاما آخر بخصوص أصل أشعة الدقائق الكونية ٠

فاذا احتوى سديم غازى على الكترونات ذات طاقة عظيمة ـ الأمر المميز للدقائق الكونية ـ فلابد وأن تكون هناك أيضا الدقائق المناظرة ذات الشحنة المضادة ، وهى نوى المادة ، لأن الالكترون والنواه جزءان من كل ـ هو ذرة المادة ـ مشحونان بشحنتين متضادتين ٠ لذلك فمن المحتمل جدا أن تكون الدقائق الكونية المشحونة التى تشاهد عند الأرض هى نفس الدقائق التى تنشأ فى نفس الوقت مع الالكترونات أثناء انفجار نجم ليولد سديم غازى مثل سديم السرطان مثلا ٠

وهناك ظاهرة أعظم من هذه ومرتبطة بنوع آخر من السدم اللاسلكية مثل سديم « الدجاجة ـ أ » ٠ فقد ظهر أن هذا السديم الذى يبعد عنا بحوالى ٢٠٠ مليون سنة ضوئية ما هو الا مجرتين (مثل مجرتنا درب التبانة) فى حالة تصادم ٠

ويجب ملاحظة أنه عند تصادم مجرتين ، يكون التصادم المباشر للنجوم نادرا جدا ، لأن المسافة بينها أكبر بكثير من أبعادهما ٠ ولكن المسافات بين المجرات لا تزيد على ١٠ أو ٢٠ مرة قدر المجرات نفسها ، مما يجعل وقوع التصادم بينها أكثر احتمالا ٠ وهذا الاحتمال هو نفس احتمال التصادم بين كرتى بلياردو تتحركان حركة عشوائية على مائدة البلياردو ، وتتصادم مجرتان تقريبا من كل مليون مجرة شوهدت ٠

ولكن ما الذى « يتصادم » أثناء هذه « الحوادث » المجرية اذا كان احتمال تصادم النجوم ضئيلا بهذا القدر ؟ ٠ وجد أن سحب الغاز الكونى فى المجرتين هى التى تتصادم ، وينتج عن هذا التصادم موجة تصادم عظيمة تتحرك بطول كلا السحابتين بسرعة تزيد على ألف كيلو مترا فى الثانية (وعلى سبيل المقارنة ، تدور الأرض فى مدارها حول الشمس بسرعة ٣٠ كيلو مترا فى الثانية فقط) ٠ ولكن حتى بهذه السرعة العظيمة تستغرق الموجة أكثر من ١٠ مليون سنة لتنتقل من أول المجرة الى آخرها ٠ وفى أثناء هذه المدة بكاملها ، يستمر التصادم ويصاحبه اشعاع قوى من الموجات اللاسلكية ٠

وقد كتب الكثير عن النجوم اللاسلكية فى السنين الأولى للفلك اللاسلكى ، ففى ذلك الوقت كان عدد من مصادر الاشعاع القوى على الموجات المترية قد اكتشف بالاضافة الى الاشعاع اللاسلكى للشمس ودرب التبانة ، وكان هذا الاشعاع يبدو كأنه صادر من مصادر على هيئة بقع صغيرة ، ولهذا كان من الطبيعى افتراض أن مصادر هذا الاشعاع نجوم ساطعة ، وان طبيعة الاشعاع شبيهة بالاشعاع اللاسلكى للشمس ، ولكن لم يتمكن أحد من العثور على نجوم ساطعة فى هذه النقط من السماء التى يأتى منها الاشعاع ، وقد اقترح العلماء أن هذا الاشعاع يأتى من مصادر ذات طبيعة غريبة ، أى من نجوم لاسلكية تشع موجات لاسلكية قوية ، ولكن لا تشع ضوءا مرئيا ، وأخيرا وجد حل لهذا اللغز ، واكتشف أن النجوم اللاسلكية ما هى الا سدم بعيدة جدا تشع موجات لاسلكية ولا يمكن رؤيتها بوضوح ، وهى التى ذكرناها فيما سبق ،

ثم اكتشف العلماء اشعاعا لاسلكيا قادما من القمر ، وبينما نجد أن ضوء القمر ضوء منعكس من الشمس ، فان الاشعاع اللاسلكى للقمر هو اشعاع حرارى له مميزاته الخاصة ، ومن المعروف أن درجة سطوع القمر تختلف كثيرا بين طورى الهلال والبدر ، وقد أظهرت قياسات الأشعة تحت الحمراء أن درجة حرارة سطح القمر تتغير من ــ ١٥٠ درجة مئوية عند منتصف الليل القمرى الى + ١٣٠ درجة مئوية أثناء النهار القمرى ، الا أن الاشعاع اللاسلكى للقمر (على موجة طولها حوالى ثلاث سنتيمترات) يظل ثابتا على مدار النهار والليل القمريين ، وتفسير هذا أن الموجات اللاسلكية للقمر لا تنبعث من سطحه ، ولكن من عمق معين تحت سطحه ، ومن الواضح أن سطح القمر يتكون من غبار ناعم ذى موصلية حرارية ضعيفة للغاية يعمل كمعطف دافىء يحتفظ بدرجة حرارة ثابتة وان كانت منخفضة ،

وهناك عدد من النظريات عن أصل هذه الطبقة من الغبار ، وتقول احداها ان هذه الطبقة تكونت على سطح القمر نتيجة لسقوط ملايين من الشهب الكبيرة والصغيرة والدقيقة على سطحه ، وقد كان من الممكن أن تواجه الأرض نفس المصير ، لو لم تكن مغلقة بغلاف واق متين هو الغلاف الجوى ، فلا تستطيع الشهب أن تصل الى سطح الأرض ، لأنها تحترق فى غلافها الجوى ، ولكنها تصل الى سطح القمر بلا عقبة ، لأن الغلاف الجوى للقمر ــ ان وجد ــ صغير جدا ، وتقول نظرية أخرى ان طبقة الغبار تكونت نتيجة لتحلل الصخور الذى حدث بسبب التغير الشديد فى درجة الحرارة ،

وقد تم الحصول على جميع البيانات المذكورة آنفا بالطرق الفلكية اللاسلكية السلبية ، فان التليسكوب اللاسلكي ـ مثله في ذلك مثل التليسكوب البصرى المعتاد ـ يستقبل الاشعاع الصادر من الأجسام الفلكية ٠

دور الرادار فى الفلك

وهناك فرع آخر من فروع الفلك اللاسلكى ـ وهو الفرع الفعال أو الرادار ٠ وهو حتى الآن لا يمكنه معالجة الا الاجسام القريبة : الشهب والقمر (★) ٠

وتتم الأرصاد الرادارية للقمر فى الوقت الحاضر على موجات يتراوح طولها من ١٠ سنتيمترات الى عدة أمتار ٠ وقد مهدت هذه الأبحاث الطريق أمام الفحص التفصيلى لسطح القمر فى المستقبل ٠ أما الآن فانها تمدنا بمعلومات اضافية هامة عن تركيب جو الأرض ٠ وتعتبر هندسة الرادار فى الوقت الحاضر فى موقف يسمح لها بالقيام بتطوير الأجهزة ، حتى يمكن مراقبة الشمس والزهرة ٠

ومن أهم الدراسات مشاهدة النجوم الساقطة أو الشهب باللاسلكى٠

وتزيد هذه الشهب بصفة خاصة فى ليالى أغسطس ، فتظهر حينئذ أعداد كبيرة تصل الى المئات والآلاف من النجوم الدقيقة وتختفى امام العين ، وفى مثل هذه الأوقات يقال ان هناك مطرا من النجوم ٠

يعلم كل تلميذ اليوم أن النجوم الساقطة ما هى الا دقائق صغيرة من المادة تسمى الشهب ٠ وهى تدخل جو الأرض بسرعة تصل الى عشرات الكيلو مترات فى الثانية ، وترتفع درجة حرارتها بالاحتكاك مع الهواء الى أن تصبح بيضاء من شدة الحرارة وتحترق على ارتفاع عدة عشرات من الكيلومترات من سطح الأرض ٠ وتخترق الشهب الكبيرة ـ وبخاصة اذا كانت سرعتها منخفضة نسبيا ـ جو الأرض الى أن تصل الى الطبقات السفلى منه ٠ ويصل أكبرها بالفعل الى سطح الأرض ٠

ويظل عدد الشهب التى تدخل جو الأرض كل ثانية ـ فى المتوسط ـ ثابتا ، وهذا يعنى أن كثافة الدقائق الصغيرة من المادة لا تتغير كثيرا

(★) تم أخيرا ارسال اشارات رادار الى الشمس واستقبالها ـ المترجم ٠

فى مختلف مناطق الفراغ الذى تخترقه الأرض · وفى أثناء مطر النجوم تدخل الأرض فى مناطق تحتوى على عدد من دقـــائق الشهب أكبر من المتوسط بكثير ·

وقد تأكد فى عدد من الحالات أن مطر النجوم ما هو الا بقايا مذنب تحلل الى عـــدد كبير من الأجزاء المنفصلة · ومن هذا نرى أن دراســة تيارات الشهب لها أهمية عظمى فى دراسة تكوين المجموعة الشمسية ·

وتعتمد الأبحاث الخاصة بالشهب والتى يستخدم فيها الرادار ، على انعكاس الموجات اللاسلكية عن الآثار التى تخلفها الشهب ، اذ لا تحرق الحرارة الناتجة عن الاحتكاك بالهواء الشهاب فحسب ، بل تؤين جزيئات الهواء أيضا بطول مساره · ويستمر التأين بعض الوقت بعـد أن تبرد دقائق الغبار المتبقية من احتراق الشهاب وتكف عن اشعـــاع الضوء · ويمكن معرفة السرعة التى تتحرك بها هذه الآثار والزمن الذى تستغرقه حتى تتشتت من دراسة الرياح فى الطبقات العليا من الجـو وذلك يعطينا بيانات أخرى قيمة ·

ومن النواحى الهامة بصفة خاصة ، ان الطرق التى تستخدم الرادار تسمح بمراقبة الشهب خلال السحب وأثناء النهار ، الأمر المستحيل تماما بطرق المراقبة المعتادة · وقد مكن هذا من جمع كمية كبيرة من البيانات الهامة ــ فى وقت قصير نسبيا ــ عن تيارات الشهب ، الأمر الذى له أهمية خاصة فى تصميم صواريخ الفضاء ·

فلابد أن يعرف مصممو الصواريخ ، ما هو احتمـال التصادم مع الأجسام الكونية ، وما هو معدل ظهور الشهب الكبيرة ، وأين تقع ممرات تيارات الشهب الشديدة ، وكيف يمكن أن ينتقى أسلم مسار للصاروخ ؟ اذ أن الشهب تتحرك بسرعة تزيد عشرات المرات على سرعة الرصاصة ويمكنها أن تخترق جدران الصاروخ · ولا يمكن جعل الجدران سميكة جدا ، لأن ذلك يزيد من وزن الصاروخ كثيرا · وفى نفس الوقت يجب أن تكون هذه الجدران على درجة دنيا من المتانة لا يصح أن تقل عنها · ويلزم فى هذه الحالة الحصول على البيانات الأساسية المطلوبة لتصميم جدران الصواريخ بمراقبة الشهب بالرادار ·

وقد أدت دراسة آثار الشهب باستخدام الرادار الى ظهور تكنيك جديد للاتصالات باستخدام الموجات الفائقة القصر لمسافات تصل الى ١٥٠٠ كيلو مترا · وتعتمد هذه الطريقة على انعكاس الموجـــات اللاسلكية من

الآثار المتأينة للشهب فى طبقات الجو العليا • وقد أظهرت المشاهدات أن مئات من الشهب تظهر كل ساعة بين أية نقطتين على الأرض المسافة بينهما ١٥٠٠ كيلو مترا • ويمكن استخدام آثارها فى هذه الطريقة الجديدة للاتصال اللاسلكى • وبالرغم من أن الشهب لاتظهر بانتظام ، فان عول الاتصال يكون عاليا بحيث يتم استقبال ما لا يقل عن ٩٥ فى المائة من الارسال بدون تشويه •

ويعمل هذا النظام بالطريقة التالية ، تقام فى كل من طرفى الوصلة اللاسلكية محطتا ارسال واستقبال للموجة الفائقة القصر تعملان بتردد من ٣٠ الى ٦٠ ميجاسيكل وبحيث يوجه هوائياهما على نفس المنطقة من الأيونوسفير • وتعمل المحطتان باستمرار ، ولكن لا يتم الاتصال بينهما الا عند ظهور أثر لشهاب فى تلك المنطقة من الأيونوسفير • ففى هذه اللحظة تتم قناة الاتصال ويستقبل كل من جهازى الاستقبال اشارة معينة من المحطة الأخرى ، فتبدأ معدات التلغراف عالى السرعة فى العمل اوتوماتيكيا وترسل الرسائل التى تكون مسجلة على شريط ومجهزة للارسال • وتسجل الرسائل المستقبلة على شريط أيضا •

وتستغرق كل فترة ارسال من عدة أجزاء من الألف من الثانية الى عدة ثوان حسب شدة الأثر وظروف تشتته ، ويتم الارسال بسرعة تزيد على ٣٠ كلمة فى الثانية ، ويسمح قصر كل فترة والظهور العشوائى للشهب بمتوسط للارسال يبلغ ٤٠ كلمة فى الدقيقة ، وهو رقم مقبول تماما •

ومن مميزات هذه الطريقة الجديدة انخفاض القدرة اللازمة لأجهزة الارسال وقلة التأثر بالتداخل والدرجة العالية من السرية التى يتم بها الاتصال •

وفى الختام ، يجب أن نذكر انه بالاضافة الى خلق علم جديد وهو الفلك اللاسلكى ، تشق الهندسة اللاسلكية طريقها أيضا الى الفلك البصرى المعتاد ، اذ أن هناك — ضمن أشياء أخرى — طريقة أوتوماتيكية لتسجيل اللحظة التى يمر فيها نجم ما فى مستوى الزوال ، ومثل هذا القياس هام جدا فى الخدمات المتعلقة بتحديد الوقت • ولهذا الغرض ، توضع خلية ضوئية فى بؤرة تليسكوب •

ومن الأمور المعقدة جدا ، الطريقة المتبعة فى تصوير نجم أو سديم ضعيف بالتليسكوب البصرى • اذ يكون فى غاية الأهمية أن يظل

التليسكوب متتبعا النجم تتبعا دقيقا أثنـاء فترات التصـوير البطيئة للحصول على صور فوتوغرافية عالية الجودة ٠

وقد استخدمت المعدات التليفزيونية أخيرا فى الأرصاد الفلكية ٠ وقد نشأ ذلك باعتبار انه عند تصوير الاجرام السماوية الضعيفة ــ وبخاصة الطيف المنبعث منها ــ فان زمن التعريض يعتمد على عاملين : حساسية المادة الفوتوغرافية ، وحجم التليسكوب ٠ ولا يمـكن زيـادة الواحد فيهما أو الآخـر كثيرا فى الوقت الحاضر ٠ ويكفى أن نقول هنـا ان أكبر تليسكوب عاكس موجود الآن وهو الموجود فى مونت بالومار تكلف ستة ملايين دولار ، واستغرق بناؤه عشرين سنة ٠

وكما نعرف الآن ، مكنت ظاهرة اختزان الشحنة ومبدأ التضاعف الألكترونى الثانوى من صنع أنابيب كاميرا ذات حساسية عالية ٠ وبوضع احدى هذه الأنابيب فى بؤرة تليسكوب أو مقياس طيف فلكى ، بدلا من اللوح الفوتوغرافى ، أمكنت مشاهدة موجات الضوء الضعيفة القادمة من الأجرام السماوية بوضوح أكبر ٠

وقد أمكن الحصـول على صـور فوتوغرافية للشمس من شاشـة أنبوب صورة متصل بأنبوب كاميرا موضوع فى بؤرة تليسكوب وذلـك باستخدام الاشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء على صور عادية أيضا للقمر والمشترى وزحل ٠ وقد أظهرت صور القمر فجوات صغيرة بوضوح ، كما أظهرت صور المشترى بقعا مميزة ٠ وبالمقارنة بين هـذه الصور الفوتوغرافية والصور المعتادة ظهرت ميزة الطريقة الجديدة ، فقد أظهرت صور الشمس التى التقطت بالطريقة الجديدة تفاصيل لم تر من قبل ، لا بالتصوير الطيفى ولا بالعين ٠

وجدير بالذكر أن الخطوات الأولى نحـو استخدام التليفزيون فى الفلك تمت على أيدى خبراء لاسلكيين كانوا فلكيين هواة يعملون مـع فلكيين محترفين ٠

التحليل الطيفى اللاسلكى

نشأ علم دراسة الظواهر الطيفية اللاسلكية من تزاوج الفيزياء اللاسلكية مع الوسائل الهندسية اللاسلكية المستخدمة فى دراسة تركيب الجوامد والسوائل وخواص الجزيئات والذرات والنـوى والأبحاث الخاصة وآليات التفاعلات الكيميائية • واسم هذا العلم الجديد يدل على أنه يدرس المواد عن طريق طيفها ، أو بعبارة أدق طيفها اللاسلكى •

ويلعب الطيف وتحليله دورا هاما فى الهندسة اللاسلكية ، وقد ابتكرت أجهزة خاصة تسمى محللات الطيف لتحليل طيف الاشارات التليفزيونية واشارات التداخل والأصوات الصادرة من مختلف الآلات الموسيقية •

ويدرس علم التحليل الطيفى اللاسلكى الذى سنتناوله بالبحث فى هذا الفصل اشارات مختلفة تماما عما ذكر ، ومصدر هذه الاشارات ليس كاميرات تليفزيونية أو آلات موسيقية ، ولكنه الذرات والجزيئات •

وقد جذب تحليل الضوء ـ الذى تبعثه مختلف المواد أو تمتصه ـ العلماء منذ زمن طويل • وابتكرت عدة أنواع مختلفة من مناظير التحليل الطيفى لهذا الغرض ، وبوساطة مناظير التحليل الطيفى البصرية ، يمكن تحديد تركيب الصلب أو البترول ، ودرجة حرارة النجوم البعيدة وتركيبها ، ودراسة تكوين الذرات والجزيئات •

ويدرس علم التحليل الطيفى اللاسلكى ـ وهو علم جديد لم ينشأ الا منذ عقد واحد ـ أيضا الجزيئات والذرات والنوى الذرية • ولكن ذلك لا يتم بموجات الضوء ، وانما بالموجات اللاسلكية ، وعلى الخصوص تلك الواقعة فى النطاق السنتيمترى • ومن هنا تختلف أجهزة التحليل الطيفى اللاسلكى عن مناظير التحليل الطيفى المستخدمة فى تحليل الضوء المرئى

اختلافا بينا ، كما وأنها لا تشبه أجهزة تحليل الطيف المستخدمة فى دراسة الاشارات اللاسلكية •

ولقد جاءت الحقائق التى أدت الى نشـــأة علم التحليـــل الطيفى اللاسلكى نتيجة للمحاولات التى قام بها البعض لاستخدام موجات أقصر من ثلاثة سنتيمترات للرادار • وقد واجهت هـذه المحـاولات صعوبات كبيرة ، اذ وجد أن الموجات اللاسلكية التى طولها حوالى سنتيمتر واحد أو نصف السنتيمتر تمتص امتصاصا كبيرا فى الجو • وقد أثر ذلك على مدى أجهزة الرادار التى تعمل على هذه الموجات •

وقد أظهرت الأبحاث الأساسية التى قام بها ، عام ١٩٤٢ ف٠ل٠ جينز بورج العضو المراسل فى أكاديمية العلوم السوفيتية ، ثم أكملهـا علماء آخرون أن هذا الامتصاص كان أساسا نتيجة لوجود بخار المـاء فى الجو ، كما وجد أن بخار المـاء يمتص الموجات اللاسلكية فى النطـــاق من ٢ر١ الى ٦ر١ سنتيمترا امتصاصا كبيرا • وقد أكدت التجارب هـذه الحسابات • وكنتيجة لهذا ، لم ينتشر استخـدام الرادار العـامل على الموجات من ١ الى ٢ سنتيمترا • ولكن الاهتمام بأمرها كان قد بدأ •

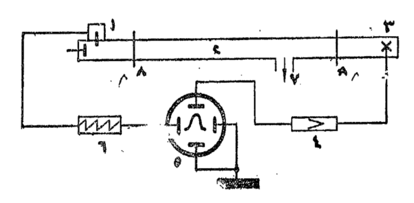
ملك الرادار ناصية استخدام نطـاق الموجـات الأقصر من ذلك ، بينما بدأ العلماء فى دراسة الظاهرة المكتشفة حديثا • وتذكر العلمـــاء أن س٠ى٠ كليتون و ن٠هـ٠ وليامز كانا قد قاما بدراسة امتصـــاص الموجات اللاسلكية فى الأمونيا عام ١٩٣٤ • وقد استخدما جهازا كان هجينا بين منظـار التحليل الطيفى البصرى ودوائر اللاسلكى العـادية • وكان مصدر الموجات اللاساكية صمام الماجنترون •

ويعتبر عام ١٩٤٦ عام المولد الفعلى للتحليل الطيفى ، لأنه فى ذلك العام ظهرت أكثر من عشر مقالات عن الدراسات الخاصة بامتصاص موجات اللاسلكى السنتيمترية فى بخار الماء والأكسجين والأمونيا وغازات أخرى تحت ضغط منخفض ، وعن تصميم أول أجهزة تحليل طيفى لاســـلكى الغرض منها القيام بهذه الدراسات وعن الأبحاث الأساسية المرتبطة بتلك الدراســـات •

أجهزة التحليل الطيفى اللاسلكى

جهاز التحليل الطيفى الحديث جهاز معقد نسبيا • وهو يختلف تماما عن مناظير التحليل الطيفى البصرية ، فهو لايحتوى على مناشــير زجاجيـــة أو شقوق بصرية ، ولكنـه مثـال للجهـاز اللاسلكى البحث

(شكل ٣٦) • وتستخدم أكثر أنواع أجهزة التحليل الطيفى اللاسلكى شيوعا عشرات من الصمامات الالكترونية المختلفة ، ويكون مصدر الموجات اللاسلكية فيه صمام من نوع خاص مثل الكلايسترون الاعتكاسى الذى تكلمنا عنه من قبل فى هذا الكتاب • وأهم سماته أنه يمكن موالفة الذبذبات المتولدة منه بدون مجهود كبير ، وبدون استهلاك كبير للطاقة ، وذلك بتغيير الفلطية المسلطة على أحد الالكترودات ، وهو العاكس • وتغذى الموجات اللاسلكية التى يشعها الكلايسترون عن طريق دليل موجى (أنبوب معدنى مستطيل المقطع) الى كاشف بللورى ، ثم تكبر الاشارة الخارجة منه وتسلط على أنبوب راسم للذبذبات الكهربائى أو تسجل على شريط •

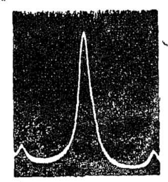


(شكل ٣٦) : الرسم التخطيطى لجهاز تحليل طيفى لاسلكى بسيط
١ ــ كلايسترون ٢ ــ خلية امتصاص ٣ ــ كاشف ٤ ــ مكبر
٥ ــ راسم ذبذبات باشعة المهبط ٦ ــ مولد ذبذبات أسنان المنشار
٧ ــ الى مضخة ومانومتر ووسيلة ادخال الغاز المراد دراسته ٨ ــ نافذة من الميكا •

وتحتوى أبسط أجهزة التحليل الطيفى اللاسلكية المصممة لدراسة امتصاص الموجات اللاسلكية فى الغازات على جزء منفصل من الدليل الموجى بين الكلايسترون والكاشف يفصل عن باقى الجهاز بنافذتين محكمتين من الميكا ، بحيث لا تنفذ منهما الغازات ومضخات خاصة لتفريغ الهواء من هذا القسم • وتدخل الغازات المراد اجراء الاختبارات عليها الى هذه الغرفة المفرغة • ويسمى هذا القسم من الدليل الموجى المزود بنوافذ الميكا ووسائل ادخال الغاز المفرغ بخلية الامتصاص •

ويعمل جهاز التحليل الطيفى اللاسلكى البسيط كما يلى : يغير مولد ذبذبات أسنان المنشار تردد الكلايسترون دوريا • ويغذى نفس المولد فلطية المسح الأفقى للشعاع الساقط على شاشة أنبوب راسم

الذبذبات الكهربائى مما يحرك الشعاع دوريا بمعدل ثابت من احدى حافتى الشاشة الى الحافة الأخرى • فاذا لم يكن بخلية الامتصاص أى غاز وكان جهاز التحليل الطيفى اللاسلكى موالفا موالفة صحيحة ، تظل الطاقة التى يغذيها الكلايسترون للكاشف ثابتة ويتحرك الشعاع فى خط مستقيم على شاشة الأنبوب • فاذا دخل غاز خلية الامتصاص وكان خطه الطيفى ضمن نطاق الترددات التى تمسحها اشارة الكلايسترون ، فان الطاقة المسلطة على الكاشف تتغير مع التغير فى تردد الكلايسترون • وذلك لأن الغاز يمتص الموجات اللاسلكية التى ينطبق ترددها مع تردد كل خط من خطوطه الطيفية • ولهذا تقل الطاقة التى تصل الى الكاشف بهذه الترددات عن تلك التى تصل اليه بموجات ذات تردد مختلف ، وتسجل التغيرات فى الطاقة مع التغير فى تردد الكلايسترون على شاشة جهاز التحليل الطيفى اللاسلكى ، وبدلا من خط مستقيم ، يرى المشاهد خطا منحنيا يمثل صورة الخط الطيفى ، ويشبه الخط الطيفى على شاشة راسم الذبذبات منحنى رنين الدائرة الموالفة الى حد كبير (شكل ٣٧) •



(شكل ٣٧) الخط الطيفى لجزىء الأمونيا

الخطوط الطيفية

الخطوط الطيفية التى نحصل عليها بوساطة جهاز التحليل الطيفى اللاسلكى ، هى نتيجة للتفاعل بين الموجات اللاسلكية وجزيئات الغاز •

وقد عرف التفاعل بين الذرات والجزيئات والمجال المغناطيسى الكهربائى منذ زمن طويل ، فملح الطعام يصبغ اللهب الأزرق المنبعث من مصباح الغاز بلون أصفر ناصع ، بينما اذا سخنت كاوية اللحام المصنوعة من النحاس بشدة فانها تصبغ اللهب بلون أخضر ناصع • هذا نتيجة للخط الأصفر الناصع فى طيف الصوديوم الموجود فى ملح الطعام فى

الحالة الأولى ، والخط الطيفى الأخضر للنحاس فى الحالة الثانية • وبمشاهدة اللهب المصبوغ فى جهاز تحليل طيفى ، يمكننا أن نعرف ما اذا كان اللهب يحتوى على أبخرة الصوديوم أو النحاس أو أحـد العنـاصر الكيميائيـة الأخـرى •

ومن المعروف جيدا أن ضوء الشمس يحتوى على جميع ألوان قوس قزح • وبانكساره خـلال قطـرات المـاء أو منشـور زجاجى يتحلل الى نطاقات من الضـوء تتغير تدريجيا فى اللـون من الأحمر الى البنفسجى وهذا هو ما يظهر للعين المجردة ، ولكن الفحص الأدق يظهر أن الطيف الشمسى يحتوى على خطوط ضيقة معتمة تسمى خطوط فراونهوفر وذلك على اسم مكتشفها • وهـذه الخطوط المعتمة نتيجة لامتصاص الضـو المنبعث من السطح المتوهج للشمس فى الغازات الباردة نسبيا الموجودة فى الطبقـات العليـا لجو الشمس • وقد أثبت فرانهوفر أن ترتيب الخطـوط المعتمـة فى الطيف الشمسى ينطبـق على ترتيب الخطـوط الطيفية للصوديوم والنحاس وباقى العناصر التى ترى فى الأطيـاف التى تظهر فى مصابيح الغاز • وثبت بعد ذلك أن الغازات الباردة تمتص دائما الضوء ذا الموجة التى طولها هو نفس طول الموجة التى تشـعها عندما ترتفع درجة حرارتها • وقد نتج عن ذلك أنه بدراسـة الخطوط المعتمة فى طيف الشمس والنجوم ــ أمكن التوصل الى معرفة الغـازات التى تكون غلافها الخارجى البـارد نسبيا وبهـذه الطريقـة اكتشف أن الشمس تحتوى على عنصر لم يكن معروفا حتى ذلك الحين وهو الهليوم الذى يظهر على الأرض كنتيجة لانحلال بعض العناصر المشعة •

وتعتبر دراسة خطوط الضوء (أو الاشعاع) والخطوط المعتمـة (أو الامتصاص) أساس التحليل الطيفى • اذ يتميز كل عنصر كيميائى بخطوط محددة ذات أطـوال موجية محددة • ويتكون الطيف البصرى لعنصر ما من ترتيب محدد لهذه الخطوط ، أو ما يمكن أن يسمى « جواز السفر المرئى » لهـذا العنصـر • اذ يكفى أن ينطبق خط من خطـوط الامتصاص أو الاشعاع على خط لعنصر معين ليثبت وجود ذلك العنصر ، بينما تؤدى الدراسة الأكثر تفصيلا الى بيانات اضافية عن درجة الحرارة والضغط والمجالات الكهربائية والمغناطيسية عنـد مصـدر الطيف تحت الدراسـة •

ويمكن للطيف أن يعين عنصرا كيميائيا أو مجموعة من العناصر ، حيث ان هناك علاقة بين وجود مجموعة من خطوط طيفية معينة وتركيب

ذرات المادة أو جزيئاتها • وينتج كل خط من الخطوط الطيفية من زحزحة ذرة (أو جزىء) من مستوى طاقة معين الى مستوى آخر ، ويصاحب هذه الزحزحة اشعاع جزء معين من الطاقة أو امتصاصها ، ويكون الاشعاع أو الامتصاص على هيئة موجة مغناطيسية كهربائية ذات طول معين ، وأحيانا تكون هذه الموجة ضوئية وأحيانا أخرى لاسلكية •

ويقوم علماء البصريات ـ عند دراستهم للضوء المرئى المنبعث من المصادر الارضية ـ بدراسة الطيف الاشعاعى ، وهو يتكون من خطوط طيفية ناصعة على أرضية معتمة • ولا تدرس خطوط امتصاص الضوء المرئى كثيرا • وغالبا ما تكون هذه الدراسات ـ اذا تمت ـ أثناء دراسة المصادر الفلكية ، بينما يدرس علماء البصريات غالبا طيف الامتصاص عند استخدام الأشعة تحت الحمراء غير المرئية وذلك لعدد من الاسباب • وهنا يمرر الشعاع المنبعث من جسم مسخن خلال الغاز البارد (أو السائل أو البللور) المراد دراسته ، ويستخدم علماء البصريات ـ لتحليل الضوء المرئى أو الأشعة تحت الحمراء الى طيف ـ منشورات زجاجية أو مصنوعة من مادة شفافة أخرى ومحزوزات حيود خاصة وأدوات أخرى (تستخدم فى حالة الأشعة تحت الحمراء منشورات من الأبونيت أو احدى المواد الأخرى المعتمة بالنسبة للضوء ولكنها شفافة للأشعة تحت الحمراء) •

ويدرس الباحثون غالبا طيف الامتصاص عند العمل فى النطاق اللاسلكى ، كما فى حالة نطاق الأشعة تحت الحمراء •

من المعلوم أن كثيرا من الجزيئات وعددا من الذرات يكون لها خطوط طيفية موجاتها أطول بكثير من موجات الضوء المرئى بحيث تقع فى النطاق اللاسلكى • ولهذه الخطوط أيضا علاقة بانتقال الجزىء أو الذرة الى مستوى طاقة آخر ، ولكن التغير فى الطاقة المصاحب لهذا الانتقال يكون صغيرا نسبيا وبالتالى فان تردد الموجات المغناطيسية الكهربائية التى تصاحب هذا الانتقال يكون منخفضا نسبيا ، ويمكن الكشف عنه بالأجهزة اللاسلكية •

وبالطبع عندما نقول ان تردد هذه الذبذبات المغناطيسية الكربائية منخفض فاننا نقصد ذلك بالنسبة لتردد الذبذبات المغناطيسية ألكهربائية للضوء المرئى ، ولكنه يقع عادة فى نطاق عشرات الآلاف من الميجاسيكل فى الثانية ، أى أعلى بكثير من تردد الموجات اللاسلكية المستخدمة فى الاذاعة والتليفزيون ، اذ أن هذا النطاق من الترددات هو نطاق تردد الرادار •

الخطوط الطيفية على شاشة

اذا فرضنا وعزلنا جزيئا لمادة ما وكان لهذا الجزىء خطوط طيفية ضمن النطـــاق اللاسلكى ، فانه يشع أو يمتص الموجات اللاسلكية ذات التردد المحدد « بالضبط » ٠ ويمكننا استخدام كلمة « بالضبط » هنـــا دون غضاضة لأن « التفاوت المسموح به » ــ أى الفرق بين الترددات التى يمكن ان يشعها الجزىء المنفرد أو يمتصها ــ قيمته : ١٠ ــ ١٨ للنطاق السنتيمترى ٠ وبعبارة اخرى لا يمكن ان يتغير هــذا التردد بأكثر من جزء من بليون لبليون ٠

ولكن كمية الطاقة التى يشعها جزىء واحد أو يمتصها من الضآلة بحيث لا تمكن ملاحظتها ، ولهذا كان من الضرورى ان تعتمد التجارب على تبادل الفعل بين الموجات اللاسلكية (وكذلك موجات الضوء) وعدد كبير من الجزيئات ٠ ولكن الجزيئات فى هذه الحالة ، لا تتبادل الفعل مع الموجة المغناطيسية الكهربائية وحدها ولكن مع بعضها البعض أيضا ٠ اذ تصطدم الجزيئات ببعض وبجدران الوعاء الذى يحتوى الغاز تحت الاختبار ، وذلك نتيجة لحركتها العشوائية فى الفضاء ٠ ويؤثر هذا التصادم الى حد ما على حالة الجزىء ٠ ونتيجة لذلك فان انتقال الجزىء من حالة الى أخرى يصاحبه اشعاع أو امتصاص موجة مغناطيسية كهربائية يختلف ترددها قليلا عن التردد المميز لجزىء منفرد ، وكلمـــا زاد الاصطدام وزادت قوته ــ زاد الاختلاف ، وتزيد فرصة الاصطدام كلما زاد عدد الجزيئات فى الوعاء ، أى كلما زاد ضغط الغاز ٠ وتعتمد قوة الاصطدام أيضا على درجة الحرارة ، اذ تزيد سرعة الاثارة العشوائية الحرارية للجزيئات بزيادة درجة الحرارة ، وبالتالى تزيد طاقة تبادل الفعـل بين الجزيئات بعضها مع البعض بزيادة درجة الحرارة ٠ وهكذا كلما زادت درجة حرارة الغاز وضغطه ، زاد الفرق بين تردد الموجات المشعة أو الممتصة مما يزيد من عرض الخطوط الطيفية ٠

ونتيجة لذلك ، نجد انه تحت الضغط الجوى المعتاد ودرجة حرارة الغرفة ، يكون عرض الخطوط الطيفية فى النطاق السنتيمترى كبيرا ، حتى ان الخطوط الفردية تندمج بعضها فى البعض ولا يمكن رؤيتها منفصلة ٠ وهذا هو السبب فى ضرورة الاحتفاظ بضغط الغاز فى حدود جزء من مائة جزء من الضغط الجوى اذا اريد رؤية الخطوط الطيفية منفصلة ٠ وفى هذه الحالة يكون « التفاوت المسموح به » للجزىء عند امتصاصه للموجات التى يتراوح طولها بين سنتيمتر واحد وسنتيمترين حوالى جزء من عشرة آلاف من التردد ، وهذا يعنى انه فى حدود نطاق التحليل الطيفى اللاســلكى

المستخدم يمكن مشاهدة الملايين من الخطوط الطيفية غير المندمجة ، واذا كان الغاز محل البحث لا يتحول الى سائل فى درجات الحرارة المنخفضة نسبيا ، فاننا بتبريده بالثلج الجاف أو الهواء السـائل نستطيع خفض السرعات الجزيئية الحرارية الى حد كبير ، مما يخفض من عدد التصادمات بين الجزيئية وبالتالى تضييق الخطوط الطيفية عشرات المرات وبهذا أمكن فصل الخطوط الطيفية المتلاصقة ٠

وفى الطيف الضوئى نلاحظ تغيرات مشابهة فى شكل الخطوط الطيفية ولكن الخطوط فى هذه الحالة تظهر على شكل نطاقات ساطعة أو معتمة . ويجب القيام بقياسات مرهقة معقدة لدرجة سطوع الأجزاء المختلفة من الخط لمعرفة شكله ٠

ويسهل التحليل الطيفى اللاسلكى حل هذه المشكلة الى درجة كبيرة ، اذ ترسم صورة منحنى الخط الطيفى على شاشة جهاز التحليل الطيفى اللاسلكى ، وبتغير ضـغط الغاز أو درجة حرارته فى خلية الامتصـاص بالجهاز ، وبذلك تمكن رؤية التغيرات المناظرة فى شكل الخط الطيفى فى الحال ٠

وتمكن الطريقة اللاسلكية من قياس عرض الخطوط الطيفية بدقة لا يمكن الوصول اليها فى نطاقى الضوء المرئى والأشعة تحت الحمراء ٠

ومشاهدة منحنيـات الخط الطيفى عـلى شاشات أجهـزة التحليل الطيفى اللاسلكى تساعدعلى دراسة أشكال الخطوط دراسة دقيقة ، كما تزودنا ببيانات قيمة عن طبيعة القوى المؤثرة على الجزيئات ٠

ومن السمات الملحوظة لأجهزة التحليل الطيفى اللاسلكى الحديثة حسـاسيتها الفائقة ٠ اذ يكفى لتحليل مادة خطوطها الطيفية واقعة فى النطاق السنتيمترى أن نستخدم ميكروجرام (جزء من مليون من الجرام) واحدا منها ٠

ويمكن لبعض أجهزة التحليل الطيفيـة اللاسـلكية أن تعمل على موجات تصل الى أعشار المليمتر ٠ ولاجراء الأبحاث باستخدام هذه الأجهزة يكفى جزء من ألف جزء من الميكروجرام من المادة ٠

وبدراسة شدة الخطوط الطيفية يمكن ايجاد علاقـة بين مـدى امتصاص الموجات اللاسلكية وكثافة الغاز ، وهـذا أسـاس لاستخـدام التحليل الطيفى اللاسلكى فى التحليل الكمى للمخلوطات المعقدة ٠

ومن أكبر الميزات لهذه الطريقة ، أنه بتغيير كثافة الغازات لا تتغير شدة المنحنى الطيفى على شاشة جهاز التحليل الطيفى اللاسلكى فقط ، بل وشكله أيضافى نفس الوقت . ونتيجة لهذا يمكن اكتشاف التغييرات فى أى غاز مركب يحتوى على أنواع مختلفة من الجزيئات فى الحال ، الأمر الذى له أهمية كبرى فى عدد من العمليات الانتاجية الكيميائية . وفى المستقبل سيساعد التحليل الطيفى اللاسلكى على أن تصبح العمليات الانتاجية المعقدة أوتوماتيكية مثل عمليات تكرير البترول الخام أو اصطناع الأمونيا أو المركبات العضوية المعقدة .

الغوص فى أعماق الجزىء

وجد العلماء أن « جواز سفر » الجزىء (وهو طيفه فى نطاق الترددات فوق العالية جدا) لا يساعد على تحديد نوع جزىء المادة تحت الاختبار وحالاتها فحسب ، بل يمكنه أيضا أن يعطى أولئك الذين يعرفون مفتاح السر الكثير عن التركيب الداخلى للجزىء .

فمثلا ، اذا وجد باحث خطا طيفيا فى النطاق السنتيمترى تردده ٢١٤١٣ر٩ ميجاسيكل فى الثانية ، يمكنه ان يؤكد ان جهاز التحليل الطيفى الذى يعمل به يحتوى على جزيئات من البروم الفلورى المحتوى على نظير البروم الذى وزنه الذرى ٧٩ ، واذا وجد خطا طيفيا تردده ٢١٣١١ر٤ ميجاسيكل فى الثانية ، يمكنه أن يثق فى أنه ناتج عن جزيئات فلوريد البروم التى تختلف عن الأول فى أنها تحتوى على نظير ثقيل للبروم وزنه الذرى ٨١ . ومن هذا نرى أن أبسط الأبحاث الطيفية اللاسلكية يمكنها ان تميز النظائر ذات الخواص المتشابهة ، الأمر الذى يعتبر مستحيلا بالتحليل الكيميائى وصعبا للغاية بالطرق الأخرى للتحليل الفيزيائى .

ويمكن للتحليل الطيفى اللاسلكى أن يحدد ترتيب الذرات داخل الجزىء بدقة لا يمكن الوصول اليها بالطرق الأخرى ، أى معرفة المسافات بين الذرات والزوايا بين الخطوط الوهمية التى تصل بينها .

وبالطبع يتطلب هذا الأمر أكثر من مجرد خط طيفى كما فى حالة التعرف البسيط على الجزىء ، وكلما كان الجزىء أكثر تعقيدا زاد عدد الخطوط الطيفية التى يجب اكتشافها وقياس تردداتها .

وتقتصر دراسة تركيب أبسط جزىء متكون من ذرتين على تحديد المسافة بين الذرتين ، ويكفى لهذا الغرض العثور على خطين متجاورين من خطوط طيف الجزىء وقياس ترددهما بالاستعانة بجهاز التحليل الطيفى اللاسلكى • وعندما يتم هذا ، يحسب الفرق بين الترددين ثم تحسب المسافة المطلوبة من معادلة بسيطة •

وبالطبع يتطلب الجزىء الأكثر تعقيدا دراسة أكثر تفصيلا « لجواز مروره » اللاسلكى ، اذ غالبا ما يقتضى الأمر قياس شدة الخط ، أى درجة « نصوعه » اللاسلكى بالاضافة الى تردده •

وتعتبر دراسة تركيب الجزيئات المعقدة متعددة الذرات دراسة ذات أهمية خاصة • ففى هذه الحالة لا يستطيع التحليل الطيفى اللاسلكى تحديد ترتيب الذرات المكونة للجزىء فحسب ، بل يمكنه أيضا بيان أماكن النظائر المختلفة اذا كان الجزىء يحتوى على أكثر من نظير واحد لعنصر معين • وحتى الآن لا توجد طريقة أخرى لحل هذه المشكلة •

ويمكن للتحليل الطيفى اللاسلكى أن يتعمق أكثر من ذلك فى الجزىء ويؤدى الى بيانات حتى عن خواص نوى الذرات المكونة لجزىء • اذ وجد أنه اذا ولدت نواة ذرية مجالا مغناطيسيا أو اذا اختلف توزيع الشحنة الكهربائية للنواة عن توزيعه لكرة مشحونة اختلافا ملحوظا ، فان طيف الجزىء المحتوى على هذه النواة يصبح أكثر تعقيدا • وبدراسة مثل هذه الأطياف المعقدة ، يمكن قياس قيمة المجال المغناطيسى للنواة وتحديد كيفية توزيع الشحنة الكهربائية فى الفراغ •

وهذه البيانات ضرورية لا لنظرية تركيب النوى الذرية فقط ، بل أيضا لنظرية التكافؤ الكيميائى التى تعالج القوى التى تربط الذرات بالجزيئات •

وقد سجل التحليل الطيفى اللاسلكى نجاحا ملحوظا فى عدة نواح أخرى ، فالبيانات التى أمكن الحصول عليها عن طريقه أجبرت العلماء على اعادة النظر فى أسس ميدان جديد من ميادين العلم ، وهو الديناميكا الكهربائية الكمية التى تبحث فى تبادل الفعل بين الموجات المغناطيسية الكهربائية والمادة • وقد بدأت القصة عندما أظهرت الأبحاث التحليلية اللاسلكية الدقيقة لطيف الايدروجين اختلافا عن القيم النظرية • وبالاضافة الى ذلك ، أظهرت الملاحظات الطيفية اللاسلكية أن قيمة العزم المغناطيسى للالكترون تختلف عن تلك التى تحددها النظرية التى كانت موجودة فى تلك الأيام • ولتفسير هاتين الحقيقتين ، كان لزاما التخلى عن

النظرية القديمة ، التي كانت مبنية على افتراض انه يمكن وجود فراغ خال تماما من كل شيء في الطبيعة · اذ وجد ان أكثر الفراغات «فراغا» ، وهـو ذلك الذي لا يحتوي على أية دقائق أولية (مثـل الالكترونات والبروتونات ··· الخ) يحتوي دائما على طاقة مغناطيسية كهربائية على هيئة ما يسمى بذبذبات الصفر · وقد كان اكتشاف تبادل الفعـل بين الدقائق الأولية وذبذبات الصـفر لمجال ما ذا أهميـة عظمى للفيزياء والفلسفة · فان أهم ما في المادة ليس بالطبع تأكيدها للفرض النظري الذي افترضه علماء العصور الوسطى من أن « الطبيعة تبغض الفراغ » ، ولكن المهم هو أن احدى التجارب الحاسمة أثبتت اتصالا عميقا بين الفراغ والمادة ، وأثبتت انه لا يمكن وجود فراغ خال من كل أثر للمادة ، وأن هناك دائما مجالا مغناطيسيا كهربائيا (وهو أحد أشكال المادة المنظورة) موجودا في الفراغ وفعالا ، وهذا هو المهم في الأمر ·

وقد ساعد التحليل الطيفي اللاسلكي أيضا أحد العلوم الشـابة الأخرى ، وهو الفلك اللاسلكي ·

فقد ثبت نظريا أن ذرات الأيدروجين يجب أن تشع خطا طيفيا طول موجته ٢١ سنتيمترا · ولكن شدة هذا الخط ـ طبقـا للحسابات ـ من الضعف بحيث لا يوجد أي أمل في اكتشافه في الظروف العملية لأن هذا يتطلب معدات معقدة للغاية · ومن ناحية أخرى ، كان الفلكيون قـد توصلوا منذ زمن طويل الى نظرية تقول بوجود الايدروجين في الفراغ بين الكواكب ، وطبقا لهذه النظرية ، تخترق ذرات الايدروجين « المتبخرة » من سطح النجوم المتوهجة الفراغ الخارجي ، وكثافة هـذا الغاز الكوني صغيرة جدا بالطبع ، اذ يحتوي السنتيمتر المكعب في المتوسط على ذرة واحدة من الايدروجين · وفي هذه الظروف ، تصطدم ذرات الايدروجين بمعدل لا يزيد على عدة مرات كل قرن · وقد اظهرت الحسابات أنه في هذه الظروف تشع كل ذرة أيدروجين موجة لاسلكية طولها ٢١ سنتيمترا مرة كل عشرة ملايين من السنين · ولكن ابعاد الكون من الضخامة وذرات الايدروجين فيه من الكثرة بحيث تمكن محاولة اكتشاف هذا الاشـعاع بالاستعانة بتليسكوب لاسلكي · وقد تم اكتشاف الاشعاع على الموجـة ٢١ سنتيمترا بالفعل باستخدام تليسكوبات لاسلكية خاصة موالفة على هذه الموجـة ·

وقد كان ذلك عملا عظيما · اذ تأكد بالتجربة وجود الايدروجين الكوني · وكان هذا مستحيلا بدون استخدام التكنيك اللاسـلكي ، اذ لا يمكن اكتشاف الايدروجين الكوني باستخدام التليسكوبات البصرية

المعتادة ، فان درجة حرارته ١٠٠ درجة مئوية فقط فوق الصفر المطلق • ولهذا لا يشع أى ضوء مرئى •

وبالاستعانة بالتليسكوبات اللاسلكية لم يمكن اكتشاف وجـود الايدروجين الكونى فحسب ، بل أمكن أيضا قياس درجة حرارته وكثافته وسرعته فى مختلف مناطق الفراغ • ويمكن قياس سرعته ، لأن طـول موجة الخط الطيفى الذى يشعه ذلك الايدروجين الكونى يتغير اذا تحركت سحابة الايدروجين ككل ، وهـذا بسبب تأثير دوبلر الذى تحدثنا عنه فى الفصل الخاص بالرادار • وتعتمد درجة حرارة الايدروجين الكونى على الحركة العشوائية التى تتحركهـا ذراته ، وهـذا يعنى أن زيادة درجـة الحرارة تصاحبها زيادة عرض الخطوط الطيفية •

كذلك شـوهد خط لاسلكى مزدوج للأيدروجين فى أجزاء معينة من السماء ، حدث ذلك عندما كان التليسكوب اللاسلكى متجهـا بحيث ينظر الى ذراعى مجرتنا ــ التى تشبه فى شكلها السديم الحلزونى المعتاد ــ فى وقت واحد •

ومن هذا الخط المزدوج أمكن حساب سرعة دوران المجرة ، لأن تغير التردد بفعل ظاهرة دوبلر والنـاتج عن الدوران يكون أكبر بالنسـبة للذراع الخارجى عنه بالنسبة للداخلى •

ودراسة الخط الطيفى للايدروجين الـكونى ذات أهميـة عظمى للدراسات الكونية (تركيب ونشأة الكون) ، لأن الايدروجين هو المادة الأساسية فى دورة المادة •

والمشكلة الكبرى الآن هى العثور على خطوط طيفية أخرى فى اشعاع المصادر الفلكية • فمثلا هناك الكثير من الأسباب التى تدفعنا الى توقـع اكتشاف الخط الطيفى للأمونيا وطول موجته ١ر٢٥ سنتيمترا فى أجـواء الكواكب الكبيرة مثل المشترى وزحل وكواكب أخرى ، والخطوط الطيفية لبخار المـاء فى جو الزهرة •

الأمتار والثوانى فى الجزيئات

تختبر جميع وسائل قياس الطول دوريا بمقارنتها بمقاييس امامية ثانوية ــ وهذه بدورها تختبر بمقارنتها بالطـول الامامى القـومى الذى غالبا ما يكون المتر الامامى المحفوظ فى خزائن الدولة • والمتر الامـامى الدولى هو الوحدة الأساسية للطول ، وقد تم الاتفاق بين الدول على أن يحفظ فى فرنســا •

يحقق هذا النظام جميع الأغراض العملية . ولكن الأبحاث العلمية تتطلب أحيانا دقة أكبر مما يمكن الحصول عليها عندما يكون هناك عدد من العمليات بين القياس الفعلي والمقياس الامامى .

ومشكلة قياس الزمن أكثر تعقيدا ، لانه لا توجد ثانية امامية متفق عليها اتفاقا عاما فى أى معمل فى العالم ، ولا توجد سوى امامات ثانوية مساعدة تسمح بقياس الثانية بدقة تصل الى جزء من مائة مليون جزء من الثانيـــة .

ويمكن الحصول على القيمة الحقيقية للثانية بالحساب من المشاهدات الفلكية فقط ، وذلك بقياس طول اليوم أو ـ للحصول على دقة أكبر ـ بقياس الزمن الذى تستغرقه الأرض فى الدوران حول الشمس .

وبالاتفاق الدولى ، تعتبر الثانية جزءا من ٩٧٥ ٩٢٥ ٥٥٦ ٣١ جزء من زمن دوران الأرض حول الشمس ، وبالطبع لا يمكن استخدام مثـل هذه الوحدة فى الحياة اليومية أو فى الهندسة أو العلم .

وتساعد اشارات ضبط الوقت التى ترسل باللاسلكى من المراصد الفلكية على تحديد فترات من الزمن كل منها مقدارها ثانية واحدة ، بدقة تصل الى جزء من عشرة ملايين من الجزء من الثانية . وهذه الدقة عاليـة بالدرجة المطلوبة لمعظم الحالات بالطبع ، ولكنها ليست هكذا دائما .

وهنا يهب التحليل الطيفى اللاسلكى لنجدتنا مرة أخرى ، وهو فى هذه الحالة لا يزيد من دقة تحديد وحدة الزمن فحسب ، بل أيضا يمكن من ذلك بدون الحاجة الى مراقبات فلكية معقدة وطويلة .

ومن الامور الهامة الجديرة بالذكر هنا ، أن التحليل الطيفى اللاسلكى يفتح الطريق لتوحيد امامى الزمن والطول فى نفس الوقت .

ولقـد أصبح ذلك ممكنـا بعـد ان ابتكر ن.ج. بازوف و ا.م. بروخوروف من معهد الفيزياء التابع لاكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتى ، و س.هـ. تاونز من جامعة كولومبيا ، و ج. ديبر من جامعـة ماريلاند بالولايات المتحدة (كل مجموعة على حدة) جهـازا هاما : المـولد الذرى (المعروف بالميسر فى الولايات المتحدة) . ويختلف هذا الجهاز عن باقى أنواع أجهزة التحليل الطيفى اللاسلكى فى أن الجزيئات فيه لا تمتص الموجات اللاسلكية بل تشعها . ونتيجة للظروف التى تتوفر فى هـذا النـوع من الأجهزة تشع جزيئات الأمونيا التى تتحرك فى حزمة رفيعة داخل فجوة رنينية معدنية موجات طولها حـوالى ١٫٢٦ سنتيمترا فى الفجوة . وطول هـذه الموجة ـ وبالتـالى فترة الذبذبات المغناطيسية الكهربائية المناظرة ـ ثابت الى درجة كبيرة جدا .

ومن الخصائص الهامة للدقائق الأولية للمـادة ، بما فيها الذرات والجزيئات ، ان طاقتها الداخلية لها قيم محددة لا تحتوى على غيرها · وفى الظروف العادية ، تكون الغازات فى حالة توازن ديناميكى حرارى · وهذا يعنى ان جزيئات الغاز موزعة بطريقة محددة فى جميع مستويات الطاقة ، فيشغل أكبر عدد من الجزيئات أقل مستوى للطاقة ، ويقـل العدد بارتفاع المستوى ·

وهذا هو السبب فى قابلية الغازات لامتصاص الطاقة المغناطيسية الكهربائية ، وبالطبع لا يمتص أى غـاز جميـع الموجـات المغناطيسـية الكهربائية ، ولكن يمتص الجزىء عندما ينتقل من مستوى طاقة معين الى مستوى آخر أو يشع جزءا محددا من الطاقة يعتمد على التردد المحـدد للموجة المغناطيسية الممتصة أو المشعة · فاذا وجد مثل هذا التناظر بين طاقة الانتقال وتردد الموجة ، دل هذا على ان الغاز قد تفاعل مع الموجـة المغناطيسية الكهربائية بشـدة ·

وجدير بالذكر هنا ، أنه عند مرور مثل هذه الموجة الرنينية فى الغاز ، يتساوى احتمال انتقال أى جزىء من مستوى الطاقة المنخفضة الى آخر أعلى مع امتصاص طاقة من مجال الموجة أو انتقاله من مستوى أعلى الى آخر أكثر انخفاضا مع اعطاء الطاقة الزائدة الى المجـال · ولكن نظرا لأن غالبية الجزيئات تكون – فى حالة التوازن الديناميكى الحرارى – فى أقل مستوى للطاقة ، يكون مجموع الجزيئات التى تنتقل الى أعلى (مع امتصاص الطاقة) أكبر من عدد الجزيئات التى تنتقل الى أسـفل (مع اشعاع الطاقة) · وهكذا بالرغم من تساوى احتمال كل من الامتصاص والاشعاع أثناء كل تفاعل ، فان الغاز يمتص الطاقة لأن عدد عمليـات الامتصاص الأولية يزيد فى الظروف العادية على عدد عمليات الاشعاع ·

فاذا أردنا ان نجعل الجزيئات تعطى الطـاقة للموجـة المغناطيسية الكهربائية ، أى اذا أردنا أن نكبر هذه الموجة ، يجب أن نجعل عدد عمليات الاشعاع أكبر من عدد عمليات الامتصاص ، وهذا مستحيل كما رأينا اذا كان الغاز فى حالة توازن ديناميكى حرارى ·

من ذلك يتضح أنه اذا أردنا ان نجعـل الجزيئـات تكبر الموجـة المغناطيسية الكهربائيـة ، فمن الضرورى ان نزيل التـوازن الديناميكى الحرارى حتى نحصل على عدد من الجزيئات فى مستوى الطاقة الاعلى أكبر مما فى المستوى الأقل ·

وقد قدم هذا الاقتراح أولا ف·أ· فابريكانت فى رسالة الدكتوراه التى قدمها سنة ١٩٣٩ والتى نشرت بعد ذلك بعام · ولكن لم تكن الوسائل

الفنية لتحقيق هذه الفكرة متوفرة فى ذلك الوقت فأهملت لزمن طويل ٠ أما الآن فقد توفرت الامكانيات لتحويل المادة من حالة الاتزان الى حالة نشـطة ، حيث يؤدى الانتقال الكمى الى تكبير الموجـات اللاسلكية بل توليدهـــا ٠

ويمكن القيام بذلك بعدة طرق ٠ فمثلا يمكننا أن نستغل اختـلاف شدة تفاعل الجزيئات ذات مستويات الطاقة المختلفة مع المجالات الكهربائية والمغناطيسية ٠

وهذه هى الطريقة المتبعة فى المولدات والمكبرات الذرية التى تستعمل جزيئات الأمونيا ٠ فتقذف جزيئات الأمونيا من عدد من الثقوب الرفيعـة الى وعاء مفرغ من الهواء بوساطة مضخة خاصة ٠ ويسير شعاع جزيئات الأمونيا بدون أية مقاومة من الهواء بين ألواح مكثف يتكون من أربعـــة الواح ذات اشكال خاصة ٠ وتتصل الالواح على التوالى بالطرف الموجب والسالب لمقوم جهد عال يشحنها بجهد يصل الى أربعين ألف فلط ٠

وفى مرور شعاع جزيئات الأمونيا بطول محور المكثف ٠ يجمـــع مجال المكثف الجزيئات ذات الطاقة الأعلى فى محوره ويطرد الجزيئات ذات الطاقة الأقل ٠ وبهذا الفصل للجزيئات أثنـــاء مرورها بطـــول محور المكثف ، يمكن الحصول على أمونيا فى حالة غير مستقرة ٠ ويمكن بعد ذلك الاحتفاظ بالغاز فى هذه الحالة لمدة طويلة ، ولكن هذا ليس ضروريا ٠

وتوجد فجوة رنينية موالفة على تردد يناظر تردد انتقال جزيئات الأمونيا من مســتوى أعلى الى مســتوى أسـفل بعـد ألواح المكثف وعلى امتداد محـوره ٠

فاذا سلطت موجة لاسلكية على الفجوة بحيث يناظر ترددها تردد رنين الفجوة ، تتفاعل الجزيئات معها بحيث تعطيها طاقتها وتكبرها ، ويزيد هذا التكبير كلما زاد عدد الجزيئات النشطة (ذات الطاقة العالية) التى تدخل الى الفجوة ٠ وفى هذه الحالة يعمل ذلك الجهاز كمكبر ذرى ٠

وبخلاف جميع أنواع المكبرات الأخرى (المكبرات التى تســتخدم الصمامات أو الترانزستورات أو المكبرات المغناطيسية) ، يمتاز المكبر الذرى بانخفاض ضوضائه الداخلية انخفاضا كبيرا وبانتقائية عالية ٠

وبزيادة عدد الجزيئات الفعالة الداخلة الى الفجوة تدريجيا ، يمكن الوصول الى حالة تزيد فيها الطاقة التى تعطيها الجزيئات للفجوة على الفقد فى الطاقة فى جدرانها والاشعاع المرتد خلال الثقوب الموجودة فى هــذه الجدران ٠ وفى هذه الحالة تبدأ الاثارة الذاتيــة للمكبر الجزيئى ويصبح

مولدا جزيئيا كما فى حالة المكبر ذى الصمام ، فتنشأ فيه ذبذبات وتستمر بدون أية اشارة خارجية ٠

ونظرا لأن طاقة التذبذب تتحدد من العمليات التى تتم بين الجزيئات والتى لا تتأثر بمضى الزمن ، كما ان تأثير العوامل الخارجيـــة عليهـــا ضئيل ، فانه يمكن الحصول على استقرار عال جدا للتردد ٠ اذ لا يزيد الفرق بين زمن الذبذبة فى مولدين جزيئيين ـ وبالتالى طولى الموجتين المشعتين ـ عن جزء من عشرة ملايين ، وبالاضافة الى ذلك فلقد أصبحت الطرق التى تمكن من زيادة دقة المولدات الجزيئية معروفة ٠

وعلى هذا ، فاذا اعتبرنا أن زمن ذبذبة مولد جزيئى هو امام للزمن وطول موجته امام للطول ، نحصل على امام للزمن والطول وذلك بعملية واحدة وهى الحصول على الاشعاع الصادر عن الجزيئات من مولد جزيئى ٠ ولحل هذه المشكلة أهمية عظمى ولا شك فى انها ستكون عظيمة الفائدة لعلم القياسات أو المترولوجى ٠

ويمكن حل عدد من المشاكل الهامة بالاستعانة بالمولد الجزيئى ٠ فمثلا يمكن القاء الضوء على عدم انتظام دوران الأرض ٠

ففى البـــداية حدد العلماء الثانية على أساس دوران الأرض حول محورها ٠ وبعد أن وجد أن طول اليوم يتغير بدرجة كبيرة ، تقرر قياس الزمن على أساس الدوران السنوى للأرض حول الشمس كما ذكر من قبل ، وبمقارنة المشاهدات الفلكية بزمن ذبذبة مولد جزيئى ، امـــكن دراسة طبيعة التغيرات فى سرعة دوران الأرض بدقة لاكتشاف سببها ٠

ويبحث العلماء الآن امكان القيام بتجربة هامة ، لم يكن اجراؤها ممكنا قبل تصميم المولد الجزيئى ٠

تؤدى نظرية قوى الجاذبية التى وضعها اينشتاين الى نتيجة مؤداها ان معدل سريان الزمن ليس قيمة مطلقة ٠ ونتيجة لهـــذا فان فترة دوام جميع العمليات الدورية التى يمكن استخدامها لقياس الزمن تعتمد على قيمة قوة الجاذبيـــة ٠

ان الزمن يمر بالقرب من الكتل الكبيرة من المادة أبطأ منه بعيـــدا عنها ٠ ولقد اختبرت هذه النتيجة النظرية بالملاحظة الفلكية لطيف أحـــد توابع النجم اللامع المسمى بالكلب الأكبر ٠ ولم تكن تلاحظ هذه الظاهرة على الأرض حتى الآن نظرا لأن الاختلاف المتوقع صغير جدا ، اذ طبقـــا للنظرية ، تختلف سرعة ساعة موضوعة على أعلى الجبال عن واحدة مثلها

تماما فى أعمق منجم بمقدار جزء من مليون المليون فقط ٠ ولا تستطيع أية ساعة من الساعات المعروفة حتى الآن ــ بما فيها ساعات بللورات الكوارتز المعقدة ــ ان تشعر بمثل هذا الفرق الصغير ٠

ولكن باستخدام مولدين جزيئين ، يتوقع العلماء امكان اجراء مثل هذه التجربة فى المستقبل القريب ٠

ولا شك فى أن المولدات الجزيئية ستجد استخداما واسع النطاق ، لا فى مجال الأبحاث فحسب ، بل فى الهندسة اللاسلكية أيضا : فى الملاحة اللاسلكية والتحكم من بعيد والاتصالات ٠

وفى الختام يجب ملاحظة ان التحليل الطيفى اللاسلكى ليس ميدانا معزولا عن ميادين العلم الأخرى ، اذ نشأ من تزاوج عدة علوم : الهندسة اللاسلكية والفيزياء ، أو الهندسة اللاسلكية والكيمياء ، وتقنياته على درجة مساوية من الأهمية فى دراسة المشاكل المختلفة فى الفيزياء والكيمياء والالكترونيات وحتى الفلك ٠

ومن الطريف ملاحظة ان التحليل الطيفى اللاسلكى الذى نشأ على أساس من معدات الرادار ، يمهد الآن الطريق أمام الرادار ٠ اذ تجرى الآن أبحاث على التحليل الطيفى اللاسلكى على موجة طولها ٣ر٠ مم ، أى فى نطاق من الترددات لم يتقنه الرادار حتى الآن ٠ وتعطى مثل هذه الموجات القصيرة أساسا أملا فى الحصول على رؤية مباشرة بالموجات اللاسلكية ، كما أمكن الحصول على أنابيب الرؤية الليلية التى تعمل بالأشعة تحت الحمراء ٠

وبالاضافة الى التحليل الطيفى اللاسلكى للغاز ، يجرى الآن تطوير نوع آخر هام من فروع التحليل الطيفى اللاسلكى ، وسيؤدى هذا النوع ــ بالاستعانة بالموجات اللاسلكية ــ الى معلومات هامة عن تركيب الجوامد والسوائل ، وكذلك بيانات جديدة هامة عن خواص النوى الذرية ٠

ويعتمد هذا الفرع من فروع التحليل الطيفى اللاسلكى على ظاهرة الرنين البارا مغناطيسى التى اكتشفها ى٠ك٠ زفويسكى فى سنة ١٩٤٤ ٠ وقد منح هذا العالم الذى كان وقتها عضوا مراسلا فى اكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتى جائزة لينين سنة ١٩٥٧ لاكتشاف ظاهرة الرنين البارا مغناطيسى ولأبحاثه المثمرة التى قام بها بعد ذلك فى هذا المجال ٠

ويحدث الرنين البارا مغناطيسى كنتيجة لانتقال المواد البارا مغناطيسية (متوازية المغناطيسية) بين مستويات الطاقة عندما توضع فى مجال مغناطيسى ٠

وتختلف الذرات والأيونات البارا مغناطيسية عن غيرها فى ان العزم المغناطيسى لواحد من الكتروناتها أو أكثر لا يعادله العزم المغناطيسى للالكترونات الأخرى ، بعكس الذرات الديامغناطيسية التى تعادل فيها العزوم المغناطيسية للالكترونات بعضها البعض . ولهذا السبب تكون الذرات الديامغناطيسية متعادلة مغناطيسيا فى حالة عدم وجود مجال مغناطيسى خارجى ، بينما تتصرف الذرات والأيونات البارا مغناطيسية كما لو كانت مغناطيسات صغيرة حتى فى حالة عدم وجود مجال مغناطيسى خارجى . وهذا نتيجة لوجود عزوم مغناطيسية الكترونية غير متعادلة فيها .

فاذا دخلت ذرة أو أيون بارامغناطيسى فى مجال مغناطيسى خارجى ، تنشق مستويات الطاقة فيه ، ويصبح الانتقال بين مستويات الطاقة هذه بفعل الموجات المغناطيسية الكهربائية ممكنا .

وتقع ترددات الرنين المناظرة لهذه الانتقالات بالنسبة لمعظم المواد فى النطاق اللاسلكى حتى الموجات السنتيمترية ، وتتغير ترددات الرنين بتغير المجال المغناطيسى الخارجى .

ولا تمكن ظاهرة الرنين البارا مغناطيسى من القيام بالابحاث القيمة التى ذكرناها من قبل فحسب ، بل تسمح أيضا بتصميم نوع آخر من المكبرات والمولدات الجزيئية .

وعموما لا يمكن فصل الجزيئات الموجودة فى مستوى الطاقة الأعلى فى البللورات البارا مغناطيسية عن تلك الموجودة فى المستوى المنخفض . ولتنشيط مثل هذه البللورات ــ حتى يمكنها تكبير الموجات اللاسلكية ــ تستخدم طريقة اقترحها ن.ج. بازوف و أ.م. بروخوروف .

ويتطلب تحقيق هذه الطريقة انتقاء ثلاثة مستويات مرتبة ترتيبا محددا ضمن مستويات الطاقة المتعددة التى تكون عليها الأيونات البارا مغناطيسية فى بللورة معينة . وباختصار ، لنفترض ان المستوى الثالث أعلى من المستويين الآخرين ، أى أنه يناظر طاقة أعلى ، وبما أن البللورة تكون فى البداية فى حالة اتزان ديناميكى حرارى ، فان طاقة الغالبية العظمى من الالكترونات ، تكون مناظرة لأكثر المستويات انخفاضا ، وتناظر طاقة عدد أقل من الالكترونات المستوى الأوسط ، ولا يشغل المستوى الاعلى الا عدد قليل من الالكترونات التى تناظر طاقتها هذا المستوى .

ولهذا ، عندما تتفاعل مثل هذه البللورة مع موجـــة مغناطيسية كهربائية ، تمتص طاقة الموجات التى تنـاظر طاقتها طاقة الانتقال بين المستويين المنخفضين ، فاذا كان المطلوب اشعاعا لا امتصاصا ، تكفى ازالة عدد كاف من الالكترونات من المستوى المنخفض ، بحيث يصبح العـدد الباقى أقل من عدد الالكترونات فى المستوى المتوسط ٠

ويمكن أن يتم هذا بتعريض البللورة لموجة تناظر طاقة الكم فيهـا فرق الطاقة بين المستوى المنخفض والعـــالى ٠ فاذا كانت الموجة قـوية بالدرجة الكافية ، فانها ترفع عدد الالكترونات الموجود فى المستوى الأعلى وتخفض عددها فى المستوى المنخفض ٠ فاذا كان انتقـــاء المســتويات صحيحا ، يمكن أن يصل النقص فى عـدد الالكترونات الى الحد الذى يصبح فيه عددها فى المستوى المنخفض أقل منه فى المستوى المتوسط ، الأمر الذى يعتبر كافيا جدا لتكبير الموجات اللاسلكية ٠ وقد تم تصميم مكبرات بارامغناطيسية من هذا النوع فى عدد من المعامل فى الاتحـــاد السوفيتى والولايات المتحدة ٠

وحتى يصبح الفرق بين « سكان » المستويين المرتفع والمنخفض فى حالة الاتزان الديناميكى الحرارى كبيرا بالدرجة الكافية (وهذا ضرورى حتى يمكن للموجة المساعدة أن « تخفض عدد سكان » المستوى المنخفض بالدرجة الكافية) ، يجب حفظ البللورة البارا مغناطيسية فى درجة حرارة منخفضة جدا ، كذلك يلزم وجود البللورة فى هذه الدرجة المنخفضة من الحرارة للاقلال من الحركة الحرارية داخلهـــا الى الدرجـة التى تجعلهـا لا تتداخل مع عمل المكبر ٠

وتعمل المكبرات البارا مغناطيسية التى نفذت حتى الآن فى درجة حرارة الهليوم السائل ، وهى أقل من ٢ر٤ درجة كلفن (مطلقة) ٠ وهناك نوع من هذه المكبرات لا يعمل الا فى درجة حرارة ٢٥ر١ كلفن ، وهذا هو السبب فى أن الضوضاء الداخلية للمكبرات الجزيئية التى صممت على هذا الأساس أقل من تلك المكبرات الجزيئية التى تستخدم شعاعـا جزيئيا من الأمونيا ٠ ومن المميزات الأخرى للمكبرات البارا مغناطيسية أنها سهلة الموالفة فى نطاق واسع من الترددات بتغيير المجال المغناطيسى تغييرا بسيطـا ٠

ويمكن صنع مكبر بارامغناطيسى بدون استخدام اشعاع مساعد على أساس استخدام مستويى طاقة فقط ، وتصل كفاية مثل هذه المكبرات الى أقصاها فى مدى الموجات اللاسلكية المليمترية أو حتى الأقصر ٠

وهناك عدد من الطرق التى يمكن بهـــا صنع مكبرات تحتاج الى التعرض مبدئيا لموجات لاسلكية للاثارة ، ولكن للطرق التى لا تحتاج لذلك جاذبية خاصة ، وفى حالة الموجات القصيرة جدا لا يكون هنـاك غنى عن هذه الطرق ، لأن الحصول على موجات لاسلكية قوية بالدرجـــة الكافية فى هذا النطاق صعب ان لم يكن مستحيلا تماما فى الوقت الحاضر ·

ولنتصور أن بللورة بارامغناطيسية قد وضعت فى مجال مغناطيسى ثابت لمدة كافية من الوقت ، ففى حالة الاتزان الديناميكى الحرارى تضبط غالبية المغناطيسات الأولية الدقيقة اتجاهها على اتجاه المجال لأنه يمثل بالنسبة لها وضع الطاقة الصغرى · وهذا يعنى أنه فى هذه الحالة تمتص المغناطيسات الأولية عند تفاعلها مع موجـــة مغناطيسية كهربائية ذات تردد مناسب ــ عموما ــ جزءا من طاقة الموجة وتدور عبر المجال ، أى تنتقل الى مستوى طاقة أعلى ·

وتتغير الصورة اذا عكس اتجاه المجال المغناطيسى الثابت فجأة قبل تسليط الموجة المغناطيسية الكهربائية ، وفى الحقيقة ، اذا عكس اتجاه المجال المغناطيسى بسرعة كافية ، لا تستطيع هذه المغناطيسات الأولية أن تتبع حركته وتظل فى اتجاهها الأول ، ويعنى هذا أنها تصبح فى اتجاه مضاد لاتجاه المجال وليس فى نفس اتجاهه كما كانت ·

وعندما تتفاعل هذه المغناطيسات مع موجة مغناطيسية كهربائيـــة بنفس التردد ، كما سبق ، تنتقل معظم المغناطيسات الأولية التى كانت فى عكس اتجاه المجال من وضع الطاقة الأعلى الى وضع الطاقة الأدنى وتعطى طاقتها للموجة ، وهذا يعنى تكبير الموجة · وقد قام العالمان الأمريكيان بورسيل وباوند بتجربة من هذا النوع فى سنة ١٩٥٠ ·

وبالطبع عندما يصبح عدد المغناطيسات الأولية المتجهة فى اتجـاه المجال المغناطيسى مساويا لتلك المضادة له يتوقف التكبير ، الأمر الذى يعنى ضرورة ايجاد طريقة لاستعادة حالة الاشعاع · ولا شك فى أن هذه المشكلة الفنية ستحل فى القريب العاجل ، وستمكن هذه الطريقة من صنع مولدات ومكبرات بارامغناطيسية للموجات القصيرة جدا ، وواضح أن العامل الوحيد الذى سيحدد الاستخدام هو قيمة المجال المغناطيسى الذى يمكن الحصول عليه ·

ومن المؤكد أن أى تطوير للتحليل الطيفى اللاسلكى ، سيكون له نفع كبير للعلم والهندسة ·

الالات الحاسبة الالكترونية

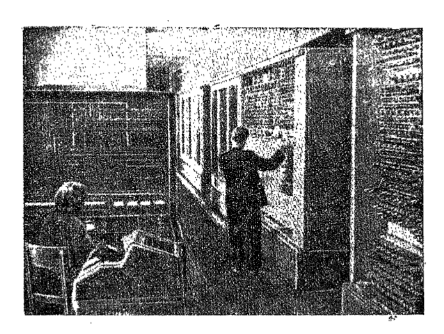
استبدلت القوة العضلية للانســان فى كثير من الأعمال المجهـدة بالمكنات والآلات منذ زمن بعيد • ولكن لم تحل المكنة محل القدرة العقلية للانسان قبل منتصف هذا القرن الا بوسائل بدائية جدا •

ونحن نعاصر الآن ثورة حقيقية فى تطوير وسائل ميكنة المجهـــود العقلى • وضمن هذه الوسائل الآلات الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية • وقد حتمت المشاكل العلمية والهندسية ذات الطبيعة العاجلـة تصميم هذه الآلات •

فمثلا يشتمل رسم الخرائط طبقا للمساحة الجيوديسية على حـل مجموعة من المعادلات يصل عددها الى ٨٠٠ معادلة • وتتكون الحسابات من ٢٥٠ ٠٠٠ ٠٠٠ عملية حسابية ، ومثل هـــذا العـدد من العمليات الحسابية اذا قام به عشرة رجال مزودين بمكنـات الجمع يستغرق ٤٠ سنة ، وقد قامت الآلة الحاسبة الالكترونية ب‍ى س‍م (★) الموجودة فى معهد الميكانيكا الدقيقة وتكنيات الحساب التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية بحلها فى عشرين ساعة (شكل ٣٨) •

وقد عمل المهندسون والمصممون طويلا فى تصميم السفن الصاروخية للتنقل بين الكواكب ، فاذا اردنا ان نجعل الصاروخ يهبط على القمـــر مثلا ولا يمر بجواره الى اجواز الفضاء ، يجب ان نحسب مساره مع اعتبار جميع العوامل التى تؤثر عليه • مثل هذه الحسابات تستغرق عامين من العمل المستمر ليتمكن العلماء من انجازها ، بينما تحل الآلة الحاسبة الالكترونية هذه المسألة فى ساعتين •

(★) هذه الحروف اختصار للتعبير « آلة حاسبة الكترونية ذات سرعة عالية » باللغة الروسية •



(شكل ٣٨) : الآلة الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية (ب ى س م) التابعة لأكاديمية العلوم السوفيتية ٠

ومن المشاكل المعقدة فى انشاء الماكينات انتاج الأجزاء ذات الاشكال المتغيرة ٠ مثل التوربينات والضغاطات وفوهات الماكينات النفاثة وكثير من الاجزاء الدقيقة الاخرى ٠ وقد ادى استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى حساب اشكال الاجزاء وفى التحكم الآلى فى المكنات التى تصنعها الى نتائج رائعة أيضا ٠ فمثلا يستغرق العامل الماهر أسبوعين فى صناعة دليل موجى معقد مكون من لوحين معدنيين باحدهما مجار ذات اشكال معينة وبالآخر الصورة المقلوبة لها ، وبالاستعانة بآلة حاسبة الكترونية ، تمكن صناعة نفس الدليل الموجى فى ساعة ، بما فى ذلك جميع العمليات التحضيرية ٠ وهاك مثال آخر : يستغرق الحاسب ستة أشهر فى حساب الارتفاع فى درجة حرارة كرسى التحميل الدفعى المستخدم فى مولد كهربائى يعمل بالطاقة المائية ، وقد اجريت هذه الحسابات على الآلة الحاسبة الالكترونية طراز م ـ ٢ الموجودة فى معهد هندسة القدرة التابع لأكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتى فى نصف ساعة ٠

وتبلغ تكاليف المليون من العمليات الحسابية التى تتم باستخدام الآلة الحاسبة طراز م ـ ٢ أربعة روبلات فقط ٠ ويبلغ عدد العمليات الحسابية التى تتم فى الآلة الحاسبة الالكترونية فى الثانية الواحدة ما بين ثمانية آلاف وعشرة آلاف ، بينما يمكن للحاسب المزود بماكينة جمع أن يؤدى ٢٠٠٠ عملية حسابية فى يوم العمل بأكمله ٠ ومن هنا نرى ان

تكاليف تشغيل الآلة الحاسبة الالكترونية لمدة ثانية واحدة حوالى أربعة كوبيكات وتقوم الآلة فى هذه المدة باتمام أربعة امثال ما يمكن ان يقوم به الحاسب فى يوم عمل مدته ٨ ساعات ·

وقد أدت المراحل الأولى من استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية الى نتائج مذهلة · فبغض النظر عن ميدان العلم أو الاقتصاد القومى الذى تستخدم فيه كانت دائما تفتح آفاقا وامكانيات جديدة ·

الصمامات الالكترونية تعد

كيف تبدو هذه الآلات الرائعة ولماذا تحسب بهذه السرعة ؟ ·

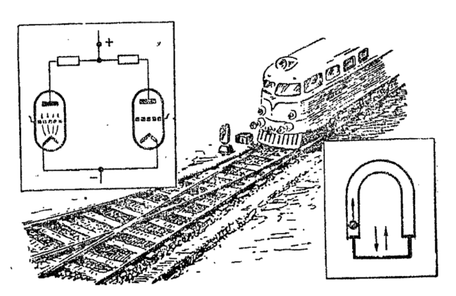
تستخدم الآلات الحاسبة الالكترونية ــ كما يفهم من اسمها ــ الصمامات الالكترونية أو اشباه الموصلات التى حلت محل الصمامات ولكنها أكثر عولا واقتصادا واصغر حجما ·

وتستخدم الصمامات الالكترونية فى اجزاء الآلة الحاسبة الالكترونية المختلفة ، ولكن العنصر الرئيسى فيها هو مجموعة بسيطة مكونة من صمامين وتسمى الدائرة النطاطة · وهذه الدائرة هى العنصر الحسابى الأساسى فى جميع الآلات الحاسبة الرقمية الحديثة عالية السرعة ، أى الجزء من الآلة الحاسبة الذى يقوم بالعد · وكذلك تستخدم الدائرة النطاطة فى أجزاء أخرى من الآلة الحاسبة الالكترونية · لهذا يجب ان نعرف ما هى الدائرة النطاطة وكيف تعمل اذا اردنا ان نفهم كيف تعمل الآلة الحاسبة الالكترونية ·

تعتبر الدائرة النطاطة من أكثر الدوائر الالكترونية التى يمكن الاعتماد عليها (شكل ٣٩) · وفى هذه الدائرة ، لا يمكن لاي من الصمامين الا أن يكون فى احدى حالتين ، اما « موصلا » أو « مقطوعا » بحيث يكون احدهما موصلا والآخر مقطوعا ·

وتعمل الدائرة كما لو كانت مرحلا الكترونيا أو تحويلة سكة حديد أوتوماتيكية · فكل هذه الادوات لا يمكن الا أن تكون فى احدى حالتين مستقرتين ، اما فى احد الاتجاهين تماما أو فى الآخر تماما ·

والدائرة النطاطة أقدم من الآلة الحاسبة الالكترونية بكثير ، اذ كانت تستعمل منذ زمن طويل كمفتاح كهربائى الكترونى ، كما كانت تستخدم



(شكل ٣٩) : الدائرة النطاطة الصمامية وشبيهاتها .

عدة مراحل نطاطة لعد القطع المنتجة فى المصانع أوتوماتيكيا ولعد الدقائق الكونية أو عدد الدقائق المتولدة من اضمحلال اشعاعى . وتصلح الدوائر النطاطة للعد لا لأنها تستقر فى احدى حالتين متزنتين فحسب ، بل أيضا لأنها يمكنها ان تنتقل من احداهما الى الاخرى فى نفس اللحظة تقريبا بفعل النبضات الكهربائية .

ولتقريب طريقة عملها الى الأذهان ، نفترض أننا وضعنا كرة من الصلب فى أنبوب منحن بحيث يكون طرفاه الى أسفل فنرى أنها لا تكون الا فى احدى حالتين مستقرتين : اما فى قاع الساق اليمنى للأنبوب أو فى قاع الساق اليسرى . اذ بعد ان تنزلق من قمة الانبوب لأقل رجة ، تستقر على القاع بحيث تظل فى هذا الوضع المستقر لمدة لا نهاية لها . فاذا اردنا ان نحرك الكرة من هذا الوضع المستقر . ولنفرض انه فى قاع الساق اليمنى الى الوضع المستقر الآخر فى قاع الساق اليسرى ، يجب ان نعرضها لدافع ما مثل تحريك أحد الكباسين الموضوعين فى الطرفين السفليين من الأنبوب ، فان الكباسين سيقذفان بالكرة من ساق الى الاخرى ، وبهذا تنتقل دائرتنا النطاطة الميكانيكية من احدى حالتيها المستقرتين الى الحالة الاخرى . وبهذا لا يكون هذا الجهاز الميكانيكى الا فى احدى حالتين مستقرتين اما والكرة فى الساق اليسرى أو وهى فى الساق اليمنى .

وكذلك يمكن للدائرة النطاطة الالكترونية ان تكون فى احدى حالتين مستقرتين ، إما أن يكون التيار فى الصمام الأيمن مقطوعا وفى

الأيسر موصلا بكامل قوته أو بالعكس • وبمحل نبضة كهربائية تتحول الدائرة الى الحالة المستقرة الثانية حيث ينقطع التيار عن الصمام الايسر ويمر تيار الدائرة الكهربائية بأكمله في الصمام الأيمن •

وبينما يستغرق الانتقال من احدى الحالتين المستقرتين الى الاخرى في الدائرة النطاطة الميكانيكية (الانبوب المنحنى المقلوب) جزءا من مائة جزء من الثانية على الاقل نظرا لوزن الكرة ، تنتقل الدائرة النطاطة الالكترونية من احدى الحالتين الى الاخرى في جزء من ألف مليون من الثانية نظرا لعدم وجود خاصية القصور الذاتي في الصمامات الالكترونية •

فاذا سلطت نبضة كهربائية على دائرة نطاطة ، تنتقل من احدى الحالتين الى الاخرى بحيث تعد نبضة واحدة ، أما اذا لم تسلط أية نبضات فان هذه الدائرة القدحية تظل في نفس حالتها ، أو بعبارة أخرى تسجل صفرا ، ونظرا لأن الدائرة النطاطة لا يمكنها الا أن تكون في احدى حالتين مستقرتين تناظر « صفرا » أو «١» ، فان الآلات الحاسبة الالكترونية تستخدم نظاما ثنائيا في العد •

وللنظام الثنائي تاريخه الخاص ، فيوما ما كانت الاشياء تعد بالخمسات (ربما لوجود خمسة أصابع في اليد) • وحتى الآن تعد الأشياء أحيانا بالدستة ، أما أساس العد في أيامنا هذه فهو النظام العشرى ، ويقسم هذا النظام الارقام جميعا الى مجموعات عشرية : آحاد وعشرات ومئات وآلاف ••• الخ ، ولكن العالم الالماني ليبنتز اقترح استخدام نظام مكون من رقمين « الصفر » و «١» ، وبينما يعتمد النظام العشرى على الرقم ١٠ ويمكن ان تضم كل مجموعة عشرية واحدا من عشرة ارقام من الصفر الى الرقم ٩ ، فان النظام الثنائي يعتمد على الرقم ٢ ، ويحتوى كل عمود على أحد رقمين ، « صفر » أو « ١ » وبحيث تكون قيمة كل عمود ضعف قيمة العمود السابق • ويمثل أى عمود بالاستعانة برقمين فقط « الصفر » و «١» ، فمثلا نجد في النظام العشرى ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ الخ ، أما في النظام الثنائي فيقابل هذه الأرقام ما يأتي : ١ ، ١٠ ، ١١ ، ١٠٠ ، ١٠١ ، ١١٠ ، ١١١ ، ١٠٠٠ الخ •

ولننظر كيف يتكون النظام العشرى المعتاد حتى يمكننا ان نفهم هذا الأمر بشكل أوضح • ففي النظام العشرى لا تتوقف قيمة كل رقم في هذا النظام على شكله فقط وانما على مكانه أيضا ، أى على ما اذا كان الرقم وحيدا أم ان هناك ارقاما أخرى على يمينه ، فمثلا يعبر الرقم «٧» عن

العدد ٧ (سبع وحدات) ، اما اذا كان هناك أى رقم آخر على يمينه ؛ فانه يعبر عن سبعين (سبع عشرات) ، واذا كان هناك رقمان على يمينه فانه يعنى سبع مئات ، ولا يهمنا هنا أى الارقام على يمينه ، فمثلا فى كل من العددين ٧١٢ ، ٧٣٥ يعنى الرقم «٧» سبع مئات ، ولهذا يسمى نظامنا العشرى نظاما وضعيا لأن قيمة كل رقم تتوقف على وضعه .

ويعنى الرقم « صفر » أنه لا توجد أية وحدات حيث يوجد الصفر ، فمثلا الرقم ٧١٢ يعنى فى الحقيقة ما يأتى : هناك سبع مئات وعشرة واحدة ووحدتين ، بينما يعنى الرقم ٧٠٢ أنه هناك سبع مئات ولا توجد عشرات بينما هناك وحدتان . وقد اصطلح على عدم كتابة اصفار على يسار الارقام المعنوية ، ولولا هذا لكان لزاما علينا كتابة عدد هائل من الاصفار الى اليسار اذ لا يوجد فى أى من الامثلة السابقة أية آلاف ولا عشرات الآلاف ولا ملايين ... الخ .

ويجب ملاحظة ان كل خانة من خانات النظام العشرى تمثل عشرة اضعاف السابقة ، فعشر وحدات عشرة واحدة وعشر عشرات مائة واحدة وعشر مئات ألف واحدة وهكذا .

ويشكل النظام الثنائى بنفس الطريقة ، ولكن نظرا لأنه يعتمد على الرقم ٢ فاننا لا نحتاج الا الى رقمين للعد الوضعى : واحد وصفر .

ولكن تختلف كل خانة فى هذه الحالة عن سابقتها بمقدار الضعف ، ويمكن أن يكون الرقم الذى يشغل الخانة الأولى اما صفرا أو واحدا ، وتعنى الخانة الثانية وحدتين أو الكمية « اثنين » ، وتعنى الخانة الثالثة اثنتى اثنين ــ أو أربعة ــ وتعنى الخانة الرابعة أربعتين ــ أو ــ ثمانية ،

وعلى هذا اذا أردنا ان نعبر عن الرقم ٣ نعبر عن « اثنين » واحدة و « واحد » واحد ونكتب ١١ بالنظام الثنائى ، اما الرقم ٩ فيكتب بالطريقة الآتية : « ثمانية » واحدة ، ولا « أربعة » ولا « اثنين » و «واحد» واحد (١٠٠١) بينما يكتب الرقم ١٠ بالنظام الثنائى على أساس انه مكون من « ثمانية » واحدة ، لا « أربعة » و « اثنين » واحدة ولا « آحاد » (١٠١٠) .

وقد اتضح أن هذا النظام كان معروفا بالفعل منذ ٣٤٠٠ سنة ، فلأن الأرقام لم تكن قد اخترعت كان الأقدمون يستخدمون شرطة « ــ » ونقطتين « .. » ، وكانت الشرطة تعنى « واحدا » بينما تعبر النقطتان عن بداية ونهاية شرطة غير مكتوبة أو بعبارة أخرى « صفر » .

وهنا نتساءل : كيف يمكن عد النبضات المسلطة على دخل الوحدة

الحسابية فى الآلة الحاسبة الالكترونية ؟ • كيف يمكن ان نحدد عدد المرات الذى تحولت فيها الدائرة النطاطة من احدى حالتيهـا المستقرتين الى الأخرى ؟ ، بالطبع لايمكن ان نعرف بمجرد النظر الى دائـرة نطاطة كم نبضة سلطت عليها أو كم مرة انتقلت من احدى حالتيها الى الأخرى ؟ لا يمكن بمجرد النظر أن نحدد الا أن عدد الانتقالات كان فرديا أو زوجيا ، فاذا كانت الدائرة قد عادت الى حالتها الأصلية كان عدد النبضات زوجيا، لأن كل ثانى نبضة تعيد الدائرة الى حالتها الأصلية •

يمكن ان نعد عدد النبضات بالاستعانة بمجموعة نطاطـة تسمى دائرة العد •

وتستطيع المرحلة الواحـدة من الدائرة النطاطة ان تعد الى اثنين : اذ تنقلها النبضة الأولى الى حالتها المستقرة الثانية بينما تعيدها النبضة الثانية الى حالتها الأولى ، ولكن يمكننا أن نجعل عودة هذه المرحلة النطاطة الى حالتها الأولى تغذى نبضة الى مرحلة نطاطة أخرى • وهذا يعنى ان المرحلة الثانية تعد «١» عندما تعد الأولى «٢» وتعود الى حالتها الأولى ، وبهذا تسجل المرحلة الثانية ان الأولى قد عدت نبضتين •

وعندما تعد الدائرة النطاطة الأولى نبضتين أخريين تشغل الدائرة النطاطة الثانية فتعود الى حالتها الأولى مسجلة بهذا ان الدائرة النطـاطة الأولى قد عدت « اثنين » مرتين •

ومن الواضح الآن اننا اذا أردنا استمرار العد نحتـاج الى مرحلة نطاطة ثالثة تتصل بالثانية تماما كما تتصل الثانيـة بالأولى ، وبهذه الطريقة تتكون دائرة العد •

ويمكن ايضاح كيفية عمل دائرة العد ذات المراحل الثلاثة باستعانة بالجدول التالى :

عدد النبضات	صفر	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨
وضع المرحلة الأولى	صفر	١	صفر	١	صفر	١	صفر	١	صفر
وضع المرحلة الثانية	صفر	صفر	١	١	صفر	صفر	١	١	صفر
وضع المرحلة الثالثة	صفر	صفر	صفر	صفر	١	١	١	١	صفر

وبقراءة الأعمدة الموجودة تحت السطر العلوى فى الجدول من أعلى الى أسفل نحصل على عدد النبضات المسجلة بالعد الثنائى •

وللتمييز بين الصفر والثمانية يجب أن نضيف مرحلة رابعة ، تماما كما احتجنا الى المرحلة الثانية لنميز بين الاثنين والصفر والمرحلة الثالثة لنميز الأربعة من الصفر ٠

وبهذا يمكننا ان نعرف بمجرد النظر الى مجموعة نطاطة كم نبضة وصلت الى المرحلة الأولى ٠

ويمكن لدائرة مكونة من ثلاثين مرحلة نطاطة ان تعد ما يزيد على ألف مليون نبضة ، أو على وجه الدقة ١٫٠٧٣٫٧٤١٫٨٢٣ نبضة ٠ فاذا أردنا ان نعد نبضة واحدة أكثر من ذلك ، يجب ان نضيف المرحلة الحادية و لثلاثين لأن هذه النبضة ستعيد المراحل الثلاثين جميعها الى حالتها الأولى ، ولكن اذا أضفنا هذه المرحلة يمكننا ان نستمر فى العد الى ٢٫١٤٧٫٤٨٩٫٦٤٧ نبضة ٠

وتجمع عناصر العد من الصمامات الالكترونية والمكونات المصاحبة لها فى وحدات قياسية تكون الدائرة الحسابية للمكنة ٠

ويمكن لمثل هذه المكنة ان تجمع عددين كل منهما يتكون من تسعة أرقام فى أقل من ثلاثة أجزاء من المليون من الثانية ٠

ولا يستطيع أى انسان ان يدخل الاعداد فى الدائرة الحسابية للمكنة بالمعدل الذى يشغلها بالكامل ، وهذا الموقف يشابه ذلك الذى واجهه عمال التلغراف بعد اختراع أجهزة التلغراف الآلية عالية السرعة ٠ اذ يمكن لهذه الأجهزة أن ترسل عشرات الآلاف من الكلمات فى الساعة بحيث لايستطيع العمال تغذيتها بالرسائل بالسرعة المناسبة ٠ ولكن سرعان ما وجد الحل ، اذ يقوم عدد من العمال المزودين بمكنات خاصة بتثقيب الرسائل أولا على شريط من الورق بحيث يمثل كل حرف بمجموعة من الثقوب ، وبعد هذا يغذى الشريط المثقب فى جهاز الارسال التلغرافى الذى يرسل الرسائل آليا بالسرعة المطلوبة ٠

وقد استخدم مصممو الآلات الحاسبة ذات السرعة العالية نفس الفكرة ٠ والآن يعتبر جهاز المدخل جزءا ضروريا من أجزاء هذه الآلات الحاسبة ٠ اذ تثقب المادة المراد تغذيتها الى الآلة الحاسبة أولا على بطاقة أو شريط من الورق ٠ والشفرة المستخدمة هنا احدى الشفرات التى كانت مصممة للتلغراف الآلى ، ولكن الآلة الالكترونية لاتستجيب الا للاشارات الكهربائية أو النبضات ٠ ولذلك يعتبر الشريط المثقب للآلة الحاسبة الالكترونية كالكتاب للانسان ٠

ويعمل جهاز الدخل عمل العينين للآلة اذ يقرأ الشريط ويحول مجموعات الثقوب الى مجموعات من النبضات التى يمكن للآلة ان « تفهمها » .

ويعمل جهاز الدخل فى الآلة الرياضية الحديثة بالطريقة التالية : يوجد بالشريط الذى يمر بين مصباح كهربائى وخليتين ضوئيتين صفان من الثقوب ، يحتوى احدهما على ثقوب على مسافات متساوية والآخر يحتوى على ثقوب تتغير طبقا لشفرة خاصة . وتقرأ كل خلية صفا من الثقوب . ونتيجة لهذا تولد احدى الخليتين نبضات تزامن تؤلف الايقاع بالنسبة لعمل الآلة ، بينما تولد الخلية الأخرى نبضات طبقا للشفرة التى كانت مستخدمة فى تسجيل المسألة وبرنامج الحساب . فعندما يمر جزء غير مثقوب من الشريط أمام الخلية الضوئية ، لا يسقط عليها ضوء وعندما يمر أمامها أحد الثقوب يسقط الضوء عليها لزمن قصير وتتولد نبضة كهربائية ، ويمكننا ان نلاحظ هذه الفكرة عمليا عندما يمر قطار بضاعة بيننا وبين مصباح كهربائى ، اذ نرى ومضات من الضوء فقط عندما تمر الثغرات التى بين العربات أمامنا .

وكما نعرف الآن ، تستخدم الدوائر الحسابية فى الآلة النظام الثنائى ، وكذلك باقى الآلة ، ولكن الانسان معتاد على النظام العشرى الذى له عدة مزايا فى الحسابات المعتادة . لهذا السبب ادخل المصممون فى اعتبارهم تمكين عامل التشغيل من تسجيل مادته على الشريط المثقب بالنظام العشرى ، بينما يتم التحويل الى النظام الثنائى أوتوماتيكيا اما فى مكنة التثقيب أو بوساطة الآلة الحاسبة الالكترونية نفسها .

ويعتبر جهاز الدخل من ابطأ أجهزة الآلة اذ لايستطيع قراءة أكثر من ٢٠ الى ٤٠٠ رقم فى الثانية ، وهذا يعنى انه من غير المفيد اطلاقا التحكم فى تشغيل المكنة بالاستعانة بالبطاقات المثقبة مباشرة ، لأنه يستحيل بهذه الطريقة تحميل الوحدات الحسابية ذات السرعة العالية الى اقصى طاقتها ، وهنا يدخل فى الميدان جزء هام من أجزاء الآلة ، وهو وحدة الذاكرة .

وبدون وحدة الذاكرة ، يستحيل استغلال المقدرة الجبارة «للأيدى» الكهربائية للآلة وهى الوحدة الحسابية لذاكرة الآلة ؛ بالاضافة الى هذا ، أن لها أهمية أكبر بكثير من مجرد اسراع التشغيل ، اذ انها هى الجزء الوحيد فى الآلة الذى يمكنها من الرصرف منطقيا ـ الأمر الذى كان الى عهد قريب الامتياز الوحيد للانسان ـ فى حل المشاكل مثل اختيار أحسن طريقة للحل أو اختيار النتائج أو ترجمة نص ما الى لغة أخرى .

وتختزن ذاكرة الآلة البرنامج ــ وهو قائمة الأوامر التى تتحكم فى تشغيل الآلة بأكملها ــ وكذلك البيانات الأولية للمسألة ونتائج الحسابات الوسطى ٠ وكذلك تحتفظ بالنتيجة النهائيــة الى ان تنقل الى جهـــاز خــرج خاص ٠

وسنتناول جهاز الخرج فيما بعد ، بعد ان ندرس تصــميم وحدة الذاكــرة ٠

ليست ذاكرة المكنة (أو خزانتها) بالشىء الجــديد ٠ فمثلا يتذكر الشريط المغناطيسى الأصوات ، وكذلك يختزن الفيلم الفوتوغرافى الصور، وكذلك تختزن أنابيب أشعة الكاثود المســتخدمة فى أجهزة التليفزيون الصور المرسلة لجزء من الثانية ، وكذلك يمــكن ان يقــال ان الكتاب « يتذكر » محتوياته و « ينقلها » الى القارىء ٠

وفى الحقيقة هناك نوعان من الذاكرة فى الآلة الحاسبة الالكترونية: الذاكرة الداخلية (أو العاملة) لاختزان البرنامج والنتائج الوســـطى المطلوبة للعملية التالية ، والذاكرة الخارجية وتكون سعتها أكبر ٠ وعادة تحتوى الذاكرة الداخلية على ١٠٢٤ أو ٢٠٤٨ كمية ، وتتكون من مراحل نطاطة تعود الى حالتها الأولى (« مفتوحة » أو « مقفولة ») بعــد عدد محدد من النبضات لزمن يكفى لحل المسألة أو من أنابيب أشــعة كاثود كتلك المستعملة فى التليفزيون ٠ وكذلك توجد أنواع أخرى من الذاكرات العاملة ، الذاكرة ذات الزئبق والذاكرة ذات القلب المغناطيسى ٠٠ الخ٠

وتسجل الذاكرة الداخلية للآلة الحاسبة طراز ب ى سم ــ التى تستخدم أنابيب أشــعة الكاثود ــ الاعداد وتقرأها فى حوالى جزء من مائة ألف جزء من الثانية ٠

وهذا هو ما يمكن الآلة الحاسبة من ان تعمل بسرعة عالية ٠

وتعمل الذاكرة الخارجية كاحتياطى للذاكرة الداخلية ولا تشترك فى الحسابات بصفة مباشرة ٠ وتستخدم عادة التسجيل المغناطيسى على شريط أو اسطوانة بطريقة تشبه تلك المستخدمة فى مســجل الصوت ذى الشريط ٠ ويمكن للاسطوانة المغناطيسية ان تختزن ٥١٢٠ كميــة ، بينما يمكن للشريط ان يختزن ٣٠٠٠٠ كمية ٠ ولا يوجد ــ عمليا ــ حد لسعة الذاكرة الخارجية حيث انه يمكن دائما استخدام عدة اســطوانات أو أشرطة ٠

وتســـجل نبضــــات الشفرة الثنائيـــة على الشريط المغناطيسى

أو الاسطوانة على شكل مناطق متجاورة ممغنطة وغير ممغنطة • وتعبر الأقسام الممغنطة عن الواحد ، بينما تعبر الأقسام غير الممغنطة عن الصفر، وتسجل نبضات التزامن الاضافية بجوار النبضات الشفرية •

ويتم نقل البيانات من الذاكرة الخارجية الى الذاكرة العاملة فى الآلة طراز ب ى س م مثلا بسرعة ٤٠٠ كمية فى الثانية •

ويقسم جزء الذاكرة من الآلة الحاسبة الالكترونية الى عدد من الخلايا تختزن مختلف الكميات • وجميع الخلايا مرقومة ، و « لأخذ » أية كمية من الذاكرة ، يجب معرفة رقم الخلية المختزنة فيها •

وينظم جهاز التحكم جميع عمليات الآلة الحاسبة الالكترونية من نقل الكميات المختلفة من الذاكرة الى الوحدة الحسابية والقيام بالعمليات الحسابية اللازمة ونقل النتائج الى الذاكرة العاملة ونقل الأرقام من الذاكرة الخارجية الى الداخلية وبالعكس •

ويعمل جهاز التحكم ، وهو بمثابة القلب للآلة الحاسبة ، حسب برنامج يكتبه الانسان •

ويسجل برنامج الآلة الحاسبة وكذلك الظروف الابتدائية للمسألة على شريط مثقب ويدخل ذاكرة الآلة الحاسبة الداخلية عن طريق جهاز الدخل •

ويتكون البرنامج من مجموعة من الأوامر التى تنتقل بدورها من الذاكرة العاملة للآلة الحاسبة الى جهاز التحكم • وبوساطتها تضبط الأجزاء الأخرى من الآلة الحاسبة حسب الرغبة •

وتتم جميع العليات آليا بدون تدخل من الانسان ، بل تنفذ الآلة نفسها جميع العمليات المسجلة فى البرنامج بما فيها جميععمليات الاختبار اللازمة وتسجل النتائج فى الذاكرة الخارجية •

ولا يمكن للآلة الحاسبة الالكترونية ان تعمل بدون برنامج ولا تحدد جودة البرنامج ما اذا كانت النتيجة النهائية صحيحة فحسب ، بل أيضا الزمن الذى تستغرقه الآلة الحاسبة لتعطى الاجابة • وتعتبر كتابة البرنامج الجيد مشكلة معقدة تتطلب مهارة رياضية وعبقرية •

والآن يحق لنا ان نتساءل : ما هو هذا البرنامج الذى نتكلم عنه ؟•

ان برنامج الآلة الحاسبة الالكترونية يشبه المجموعة من الأوامر التى قد يعطيها عالم رياضى لشخص لايعلم شيئا عن الرياضيات ولكنه

مدرب على تشغيل مكنة جمع · اذ قد يعطى مثل هذا « الحاسب » ورقة مقسمة الى مربعات تحتوى على الكميات الابتدائية وتعليمات عن كيفية استخدام هذه الكميات وبأى ترتيب وأى العمليات يؤديها بها وأين يكتب النتائج · فمثلا يمكن ان يكون الأمر الخاص بجمع ٣٧ و ٤٨ على هذه الصورة : اجمع ٣٧ و ٤٨ واكتب النتيجة فى السطر الأول من العمود الخامس ·

ولتبسيط الأمور ، يمكن ان يحتوى البرنامج على أرقام الخلايا المسجلة فيها الكميات بدلا من الكميات نفسها وبدلا من الكلمات اجمع واطرح واضرب ··· الخ تعبيرات شفرية يصطلح عليها · فمثلا : ٠١ بدلا من « اجمع » ، ٠٢ بدلا من « اطرح » ··· الخ · وبدلا من الكلمات: « فى السطر الأول من العمود الخامس » الرقم ١٥ (« السطر الأول » و « العمود الخامس ») بعد الكميات المراد جمعها ، فمثلا اذا كانت الكمية ٣٧ فى الخلية الثانية عشرة والكمية ٤٨ فى الخلية الثالثة عشرة ، فان نفس الأمر السابق يبدو كما يأتى (من اليسار الى اليمين) :

العملية	خلية الكمية الأولى	خلية الكمية الثانية	خلية النتيجة
٠١	١٢	١٣	١٥

أو كالآتى اذا أريد كتابة الأمر كعدد واحد : ٠١١٢١٣١٥ ، وبهذا لايحتاج الحاسب المدرب الى أى علم بالرياضيات ليستطيع قراءة هذا الرقم والحصول على النتيجة ٨٥ بالاستعانة بمكنة الجمع وكتابتها فى السطر الأول من العمود الخامس من الجدول المعطى له ·

وقد كانت هذه الطريقة هى التى اتبعت تقريبا فى حل مشكلة نقل الكتابة الصينية بالتلغراف · فبدلا من اختراع اشارات تلغرافية لآلاف الكلمات المحتوية عليها اللغة الصينية ، كانت هذه الكلمات ترتب فى جداول ، وهكذا يكفى ارسال الأعداد الشفرية الدالة على رقم الجدول والسطر والعمود الموجودة فيه الكلمة ·

وهذا يعنى ان من يحصل على هذه الجداول يمكنه ارسال هذه الكلمات واستقبالها حتى ولو لم يعرف معناها ·

وبطريقة مشابهة تجهز أعمال الآلات الحاسبة الالكترونية وبرامجها · فتثقب البيانات الأولية والأوامر التى تبين الى أية خلية من

خلايا الذاكرة الداخلية ترسل كل كمية فى شريط من الورق • ويتكون البرنامج من مجموعة من الأوامر تبين من أى خليــــة من خــلايا الذاكرة تؤخذ الكمية الأولى والثانية وأى العمليــات يتم عليهــا والى أين ترسـل النتيجة • وعند استقبال الأمر التالى من الذاكرة العاملة ، توصل وحدة التحكم خلايا الذاكرة المطلوبة بالوحدة الحسابية وتطلب الأمر التالى من الذاكرة أثناء تنفيذ الأمر الأول •

ولكن ماذا نفعل اذا أردنا اجراء عمليــــات كثيرة لحل مسألة ما ؟ فمثلا هل من الضرورى تجهيز برنامج مكون من ٢٥٠ مايون أمر لدراسة بيانات المساحة الجيوديسية ؟

مثــل هذا الأمر يستغرق أعواما مما يلغى ميزات الآلة الحاســـبة الالكترونية ! •

ولحسن الحظ أن الأمر ليس كذلك ، اذ يمكن لغالبية المسائل المعقدة ان تختصر الى مجموعات قصيرة مكررة من العمليــات الأوليـــة (الجمع والطرح والضرب والقسمة) مرتبة ترتيبا خاصــا • وفى هـــذه الحالة يتطلب حل المسألة تكرارا دوريا لهذه العمليات مع تغيير البيانات الأولية حسب نظــام محدد •

ويمكن للآلة أن تقوم بكل هذا أوتوماتيكيا بسرعتها العالية •

وبالرغم من ان حل كل مسألة رياضية يمكن أساسا ان يحول الى تنفيذ متتاليات مقفلة من العمليات الأولية ، فان هذه المتتاليات تكون فى معظم الحالات العملية طويلة نسبيا مما يجعل كتابة البرنامج عملية شاقة للغاية • وهنا يمكن تبسيط كتابة البرنامج تبســيطا كبيرا باستخدام البرامج القياســية ، ومن هذه البرامج اســـتخراج الجذور التربيعيــة واستخراج اللوغاريتمات وحســاب جيوب الزوايا ••• الخ ، وتحفظ هذه البرامج مع جميع البرامج التى كتبت من قبل فى مكتبة البرامج • فاذا احتيج الى الحصول على اللوغاريتمات لحل مســـألة جديدة مثلا ، لانحتاج الى تحويل هذه العملية ثانية الى عمليات أولية ولكن نضع برنامج اللوغاريتمات المعروف فى المكان المناســب من البرنامج ، وبمجــرد ان تنتهى الآلة الحاسبة من هذا البرنامج الفرعى تستمر فى الحساب حسب البرنامج الرئيسى •

وبالاستعانة بهـــذه البرامج القياســية المجهزة لحل أكثر المسائل شيوعا ، يمكن تجهيز البرامج لحل أعقد المسائل باضافات قليلة •

ويمكننا ان نعتبر برنامج « كتابة البرامج » الذى تم فى معهد الميكانيكا الدقيقة وتقنيات الآلات الحاسبة التابع لاكاديمية العلوم السوفيتية من الأعمال ذات الأهمية الخاصة فى هذا المجال . ويبسط هذا البرنامج عملية كتابة البرامج المعقدة كما يقصر الزمن الذى نحتاجه بدرجة ملحوظة .

ومن السمات ذات الأهمية الخاصة للآلات الحاسبة الالكترونية قدرتها على القيام بالعمليات المنطقية المعقدة نسبيا . ويمكن للوحدة الحسابية ان تقوم بابسط عمليات المقارنة المنطقية التى يمكن اجراؤها عن طريق الطرح ، فاذا كان باقى طرح الكمية أ من الكمية ب صفرا ، فان هذا يعنى ان الكميتين متساويتان . فاذا كان هناك باق دل هذا على ان أ أكبر من ب ، فاذا لم يكن الطرح ممكنا تبدل الآلة الحاسبة أوتوماتيكيا مكانى الكميتين وبعد الحصول على الباقى تعطى الاجابة ان ب أكبر من أ .

وباستخدام نتائج المقارنة يمكن للآلة أن تختار أيا من عدة طرق (★) لاستمرار الحل اذا كان ذلك ضمن البرنامج . فمثلا يمكن أن يحتوى البرنامج على أمر بعدم الاستمرار فى الحساب اذا تساوى أ و ب أو الاستمرار اذا كان أ أكبر من ب ، أو بالرجوع الى البداية مع تغيير الظروف الابتدائية اذا كان ب أكبر من أ .

وبهذه الطريقة يمكن ان تقوم الآلة الحاسبة بالحسابات المعقدة لتصميم الكبارى والطائرات والسفن ، كما يمكنها ان تنتقى أحسن نموذج من نماذج التصميم ، أى تقوم بعملية الانتقاء المنطقية وذلك بتقييم النتائج من وجهة نظر خاصية معينة (مثل أقل وزن بالنسبة لقوة معينة) .

وبوساطة هذا الاختبار ، يمكن للآلة الحاسبة أيضا ان تحلل معنى الكلمات المختلفة عند القيام بالترجمة من لغة الى أخرى . ونضرب هنا مثالا مفتعلا الى حد ما : يختلف معنى الكلمة الانجليزية المقابلة لكلمة « يفرغ » اختلافا بينا حسب ما اذا كانت الكلمة التى بعدها « عمل » أو

(★) هى فى الواقع ثلاث طرق لأن عدد الحالات ثلاث ، أما أ = ب أو أكبر أو أقل . وفى كثير من الأحيان تختصر هذه الطرق الى اثنتين فيقال مثلا : اذا كان أ = ب يسير الحل فى هذا الطريق والا فى الطريق الآخر ـ المترجم .

« عامل » • وبتحليل الكلمة التى تلى « يفرغ » تنتقى الآلة اوتوماتيكيا المعنى « يقوم ب » أو « يطرد » (★) • وسنتناول هذا الموضوع بتفصيل أكثر فيما بعد •

ويمكن للآلات الحاسبة ان تقوم بعمليات منطقية أكثر تعقيدا ، مثل العمليات من نوع « و ــ و » أى تقوم بعملية معينة فقط اذا كانت خليتان معينتان من خلايا الذاكرة مشغولتين فى وقت واحد والعمليات من نوع « لا ــ لا » أى تقوم بالعملية فقط اذا كانت الخليتان فارغتين فى وقت واحد ، وكذلك الكثير من العمليات المنطقية الأكثر تعقيدا والتى تتكون من مجموعات من العمليات المنطقية الأولية •

وبهذا نكون قد درسنا المراحل الأولى فى تشغيل الآلة الحاسبة ، وهى باختصار : تدخل الظروف الابتدائية للمسألة وبرنامج حلها الى دائرة الدخل بوساطة شريط مثقب ، ثم تنتقل الى الذاكرة العاملة ثم تبدأ الآلة الحاسبة فى الحساب •

وبانتهاء البرنامج ، تغذى نتائج الحساب الى الذاكرة الخارجية •

ثم يبدأ جهاز الخرج فى تسجيل النتائج على فيلم حساس (جهاز الخرج الفوتوغرافى) أو على شريط من الورق على شكل جداول محولة الى النظام العشرى ، وهذا الجهاز ابطأ مكونات الآلة الحاسبة • وتصل سرعة آلة الخرج الى ٢٠٠ رقم فى الثانية ، بينما تصل سرعة آلة الخرج الكاتبة الميكانيكية الكهربائية والتى تستخدم غالبا الى ٥ر١ رقما فى الثانية •

وهنا يحق لنا أن نسأل : هل هناك ثقة مطلقة فى صحة نتائج الحسابات ؟ لا بد وان هناك فرصة للأعطال (مثل احتراق صمام) فى مثل هذه الدوائر شديدة التعقيد مما يسبب أخطاء •

والاجابة على هذا السؤال : ان مثل هذه الحوادث قد وضعت فى الحسبان ، ولهذا يجب أن يحتوى البرنامج على أمر للاختبار ، وأبسط هذه الأوامر : « اعد جميع الحسابات وقارن النتائج » ، وهذه الطريقة يستخدمها كل من أطفال المدارس والحاسبين ذوى الخبرة على حد سواء ، وهى مفيدة فى الحسابات البسيطة ولكنها لا تصلح للحالات المعقدة ، اذ لا يمكن اعتبار العثور على خطأ بعد تشغيل الآلة الحاسبة لمدة عشرين

(★) المعانى هنا للكلمات الانجليزية المستخدمة فى النص الانجليزى للكتاب على الترتيب ــ المترجم •

ساعة واكتشاف انه حدث منذ البداية طريقة اقتصادية · ولهذا السبب فان هناك طرقا أكثر استخداما فمثلا توقف الحسابات الجارية ثم تقوم الآلة الحاسبة باجراء عملية حسابية خاصة للاختبار تستخدم جميـــع وحداتها ومكوناتها ونتيجتها معروفة ، فاذا كانت النتيجة صحيحة دل هذا على عدم وجود اعطال بالآلة الحاسبة ·

وهناك طرق أخرى أيضا مثل اجراء العمليات المتوسطـة بترتيب مختلف أو استخدام طرق أكثر تعقيدا للاختبار المنطقى ، فمثلا عند حساب مربع قطر مستطيل ، يحسب مجموع مربعى ضلعيه بعملية مستقلة ، ثم تقارن النتيجتان (من الواضح أن الطريقة المقصودة فى البرنامج هى باستخدام نظرية "فيثاغورس) ·

وجدير بالذكر ان اختبار تشغيل الآلة الحاسبة يضاعف تقريبا من زمن الحساب ·

والصيانة المانعة الدورية لمعدات الآلة الحاسبة توفـــر فى زمـــن التشغيل الى درجة كبيرة ، ولكنها عملية لا يمكن الاستغناء عنها لضمان الثقة فى صحة تشغيل مثل هذه الأجهزة المعقدة ·

ويجب ملاحظة أن جميع العمليات التى تحدث فى الطبيعة تقريبا يمكن التعبير عنها رياضيا بمعادلات ، اذ تتحكم القوانين التى يمكن تقييمها كميا فى مختلف الظواهر الميكانيكية والكهربائية والحرارية وحتى الظواهر الفسيولوجية · وحتى تلك العمليات المتعلقة بالنشاط العصبى والعقلى للانســـان يمكن وصفها رياضـــيا من نواح معينـــة · وهذا دليـــل آخر على أن حدود استخدام الآلة الحاسبة الالكترونية تتراجع بانتظـــام مما يجعلها تشتمل على دائرة من الموضوعات تتسع باستمرار ·

وبالاضافة الى الآلات الحاسبة الرقمية التى ذكرناها ، هناك مجموعة كبيرة من الآلات الحاسبة الالكترونية بالقياس ، فبينما تعمـــل الآلات الحاسبة الالكترونية الرقمية بالأرقام ، أى بقيم تتغير على خطوات ، نجد ان الآلات الحاسبة بالقياس تتناول القيم الرياضية على شكل قيم متغيرة تغيرا مستمرا مثل فلطية تيار كهربائى · ومثل هـــذه الآلات لا تعطى نتائج بالأرقام وانما ترسم فى الحال منحنى للقيمة الجارى دراستها فى اعتمادها على الظروف المختلفة ·

وحتى تتمكن الآلة الالكترونية الحاسبة بالقيـــاس من أن تدرس أية عملية يجب أن تصـــاغ هذه العملية على هيئة مجمـــوعة من المعادلات الرياضية · ثم يمثل كل ثابت أو متغير فى هذه المعادلات فى الآلـــة

الحاسبة بقيمة مناظرة له تماما مثل الفلطيـــة بين نقطتين معينتين فى الدائرة ، وبهذه الطريقة تكون داخل الآلة الحـــاسبة بالقياس نفس العلاقات بين مستويات الفلطية كما هى بين القيم الرياضية الموجودة فى مجموعة المعادلات ، أو بعبارة أخرى تحاكى الآلة العملية تحت البحث ٠

ويمكن للقياس الالكترونى ان يستخدم مثلا فى دراسة تسرب الماء تحت السد فى محطة كهربائية مائية بحيث يولد منحنى يبين العلاقـة بين كمية التسرب والزمن ٠ وفى الطيران ، يستخدم القياس الالكترونى الذى يحاكى طيران الطائرة بحيث يمكن اختبار الأنواع الجـديدة من الطائرات حتى قبل صنعها ٠ ويمكننا ان نذكر على سبيل المثال الآلـة الالكترونية البريطانية « الترايداك » ، فبالاستعانة بهذه الآلـــة يمكن تعريض الطائرة التى صممت ولم تصنع بعد لمختلف الاختبارات بما فيها العواصف وتساقط الثلج وحتى الحوادث ٠ وتسجل نتائج الاختبار على شكل منحنى لطيران الطائرة ٠ وبالاضافة الى هذا يمكن مشاهدة عمليات الطيران وذلك بمراقبة حركة مجموعة من المؤشرات تحاكى حركة الطائرة فى مختلف المستويات ٠ ويمكن للترايداك ان تحاكى طيران صاروخ أو تدرس معركة بين طائرتين لاكتشاف قدرتهما على المنـــاورات وذلـك للمساعدة على اختيار أحسن تكتيك للمعركة ٠ اما الآلة الحاسبة بالقياس طراز م هـ ــ ٨ السوفيتية فهى أكثر عموما ، اذ يمكنها محاكاة طيران سفينة فضاء واظهار التفاعل بين شيئين أو بين عمليتين معقدتين تعتمدان على مجموعة كبيرة من التغيرات ، كما يمكنها بيان تكون الجبـــال فى المستقبل ٠ وكثير من الأشياء الأخرى ٠ وتساعد الآلات الحاسبة بالقياس على اختبار عدد كبير من المكنـات من جميع الأنواع من الطـائرات الى المحطات الكهربائية المائية بدون تحمل تكاليف انشائها ٠

وسنتناول الآن بعض الآلات الحاسبة الالكترونية التى تصنع فى الاتحاد السوفيتى والدول الأخرى ٠ ولقد وجه أخيرا الكثير من الانتباه نحو ميكنة العمل المكتبى ، اذ أن هذا النوع من العمل من أكثر الأعمال ارهاقا للنشاط الذهنى الآدمى ومن أكثرها مللا ٠ وتتضمن هذه الأعمال امساك الدفاتر والعمليات المصرفية والحسابات الاقتصاديـــة المختلفـة وعمليات التخطيط والمحاسبة ٠٠٠ الخ ٠ وتتحكم فى هـــذه العمليات مجموعة من القواعد القياسية التى يمكن تحويلها بسهولة الى برنامج للآلة الحاسبة الالكترونية ٠ ونذكر على سبيل المثال للآلات الحاسبـــة الالكترونية المصممة للمساعدة فى وضع برامج الانتاج وعمليات التخطيط والأعمال المكتبية الأخرى المكنتين الأمريكيتين أ ب م ــ ٦٥٠ و « المون

روبوت » • وتستخدم المكنة طراز أ ب م ـ ٦٥٠ مثلا فى الحسابات الاحصائية لمبالغ التأمين المرتبطة بحوادث النقل • وتصنع شركة « رمنجتون راند » الامريكية الآلة الحاسبة الالكترونية « يونيفاك » التى يمكنها القيام بعمل عدة مئات من الموظفين الكتابيين • فتحسب مرتبات ١٢٠٠٠ عامل بالمصنع مع حساب العمل الاضافى والخصومات وتطبع أوتوماتيكيا استمارات المرتبات ، وتمسك سجل بطاقات توزيع العمل ، وتمسك حسابات البضائع وتحسب التكاليف الكلية للانتاج وعملياته • وتذكر الشركة المنتجة انه يمكن استخدام هذه الآلة لتخطيط تموين المواد الخام ولاختبار منحنيات الخرج ، وكذلك تمسك حساب العرض والطلب• وقد صنعت قريبا الآلة الحاسبة الالكترونية داتاماتيك ـ ١٠٠٠ ويمكنها القيام بالعمليات التالية : تحسب المدفوعات وتكتب الفواتير وتضع قوائم العملاء وعناوينهم وتراجع كمية البضائع الموجودة فى المخازن ••• الخ ، وتختزن ذاكرة هذه الآلة ٢٠٠٠ كلمة •

تبيع احدى شركات شيكاغو ٨٠٠٠ سلعة مختلفة فى انحاء البلاد ، ولمسك حسابات كل هذه البضائع ، كانت الشركة تستخدم مائة محاسب يعملون على ماكينات الجمع ذات الأزرار • وفى سنة ١٩٥٤ حصلت الشركة على آلة حاسبة الكترونية يمكنها القيام بكل هذا العمل وحدها • فكانت تعد كل ليلة ايصالات النهار وتؤدى الحسابات الأخرى التى كانت تؤدى من قبل فى اسبوعين •

ويجب ان نذكر هنا أيضا بعض الآلات الحاسبة الالكترونية البريطانية المصممة للأعمال المحاسبية ، مثل « الليو » ، وهذه الآلة تضع قوائم مرتبات ١٠٠٠٠ عامل وتمسك حسابات ١٥٠ بوفيه فى لندن • وتحتاج هذه الآلة الى ساعة لاتمام قوائم مرتبات ١٧٠٠ عامل • وتوزع الآلة الحاسبة طراز اليوت ـ ٤٠٢ أوامر المخابز وصالات الأكل وتعدها وتحسب مقدار العمل الذى ينجزه ٨٠٠ فرع • وتسجل الآلة الحاسبة الالكترونية ايرما ـ ١ جميع معاملات البنك مع مسك حساب الدخل الكلى والنفقات ، كما تفرز الشيكات والايصالات بمعدل عشرة فى الثانية •

ومن المتوقع ان يظهر فى الاعوام القليلة القادمة نوع جديد من الآلات الحاسبة الالكترونية التى تحل تماما محل المحاسبين فى الشركات الصغيرة •

وقد قامت شركة راديو كوربوريشن اوف اميريكا بصناعة آلة

حاسبة لخدمة قواعد الدبابات فى الولايات المتحدة ، وهى تراجع قطع غيار المركبات الحربية وتستبدلها ،ويمكنها ان تعرف فى دقائق الكمية المطلوبة من أى نوع من أنواع قطع الغيار ، كما يمكنها أيضا ان « تتنبأ » بالاحتياجات المستقبلة منها . وتختزن ذاكرتها ٢٠٠ ٠٠٠ اسم لقطع الغيار من المسامير الى المحركات الكاملة .

وقد بدأ استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى المكاتب الصحفية لطبع اسماء المشتركين فى مطبوعات ، يصل توزيعها الى ملايين من النسخ ، وعناوينهم أوتوماتيكيا ولأغراض أخرى مختلفة .

ويجب أن نذكر هنا أيضا آلة حاسبة الكترونية مشهورة أخرى تسمى « مانياك » ، وتتنبأ هذه الآلة بالأحوال الجوية ، اذ تحلل هذه الآلة مجموعات معقدة من المعادلات التى تتناول تحركات الكتل الهوائية مع كمية هائلة من البيانات التى تتلقاها من شبكة ضخمة من المحطات الميتورولوجية فى ساعة واحدة لتتنبأ بالأحوال الجوية لليوم التالى . وتحل هذه الآلة محل جيش مكون من ٦٤ ٠٠٠ حاسب مزودين بماكينات الجمع الأوتوماتيكية ذات المفاتيح .

وقد أصبحت الآلات الحاسبة الالكترونية وسيلة قوية من وسائل البحث العلمى فى الاتحاد السوفيتى . وتحل الآلات الحاسبة الالكترونية مثل الآلة ب ى س م التى صممت تحت اشراف الأكاديمى س. أ.ليبيديف عددا كبيرا من المسائل الرياضية والمنطقية ، وهذه الآلة لا تقل بأى حال عن أحسن آلة أوروبية ، وكذلك الآلات مثل الستريلا التى صممت تحت اشراف بطل العمل الاشتراكى ى. ى. بازيليفسكى ، والآلة م ــ ٢ و كربستال و باجــودا و اورال ، م ى س م ، ى ز وكثير من الآلات الأخرى . وفى الفترة من ١٩٥٠ الى ١٩٥٥ صممت الآلات الحــاسبة الالكترونية المتخصصة طراز ى م ــ ٥ ، ى م ــ ٧ ، ى م ــ ٨ لحل مسائل الاستغلال السليم لطبقات زيت البترول ، كما صممت الآلة الالكترونية الحاسبة بالقياس طراز ى م ــ ٦ لحساب قوة الأساسات وكتل الانشاء ، كما تستخدم الآلات الحاسبة الالكترونية فى حل المســائل النظريـــة الخاصة باطلاق المدافع ، والرجوعية والذبذباب ، والديناميكا الهوائية ، والقذائف ، ومرور الجسيمات فى المواد وكثير من المسائل الأخرى . وتصمم الآن الآلات الحاسبة الالكترونية لتجميع المعلومات عن موضوع معين مع حصر أسماء الكتب المكتوبة فيه ، وتحليل نتائج احصاء السكان ، وتخطيط الانتاج والتموين على مستوى الدولة (وهو عمل اعقد بكثير

من تخطيط الانتاج لمشروع واحد من فروع الصـــناعة كما فى الدول الأخرى) .

وسنتناول الآن استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى السكة الحديد. فلوضع جداول القطارات ومشاريع خطوط السكة الحديد وتصميم الأنواع الجديدة من القــاطرات ، يجب اجراء حسابات خاصة بالجر وبالحرارة ، وتحديد استهلاك القدرة الكهربائية واستغلال الشغل الميكانيكى . ونظرا لضخامة حجم هذه الحسابات ، فقد جرت العادة على تبسيطها ، الأمر الذى لم يكن يؤدى الا الى الاقلال من دقتها . وقـــد انتجت الصناعة السوفيتية فى سنة ١٩٥٤ الآلة الالكترونية الحاسبة بالقياس طراز أ ت س ــ ١ لحسابات الجر . والآلة طراز أ ت س ــ ٢ فى سنة ١٩٥٦ للحسابات الحرارية . وتعطى سرعة الآلات الحاسبة الالكترونية الفائقــة أسبابا للأمل فى امكان التحكم فى القطارات آليا بالاستعانة بها . وكذلك تشغيل محطات التحويل ــ حيث يغير اتجاه القطــارات ــ تشغيــلا أوتوماتيكيا كاملا . ويمكن تبسيط عمل مساحات التحويل اذا صممت آلات حاسبة ألكترونية تستطيع أن تختزن فى ذاكرتها المعلومات عن مكان كل عربة فى كل لحظة . ويمكننا هذا من معرفة عدد العربات فى مختلف انحاء الدولة واعدادها للرحيل فى وقت قصير وتوزيع العربات والقطارات بأحسن نظام ممكن .

وقد سخرت الآلات الحاسبة الالكترونية فى الدول الأخرى للقيام ببعض الألعاب بقصد الاعلان ، مثل الشطرنج والضامة وغيرها ، وكذلك نشر وكتابة مؤلفات بمعنى الكلمة ، وتأليف الموسيقى ! فقـــد نشرت الصحيفة البريطانية « ستار » فى عددها الصادر فى ١٠ أغسطس سنة ١٩٥٦ الخبر الطريف التالى : « عقل الانسان الآلى يؤلف موسيقى » ، وضعت الآلة الحاسبة الالكترونية بجامعة الينوى (الولايات المتحـــدة الامريكية) متتابعة كلاسيكية من ثلاثة أجزاء للرباعى الوترى . ومن المنتظر ان يتم أول عزف لمتتابعة « الياك » هذه والتى ألفتها هذه الآلة الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية فى شامبين بولايـــة الينوى . وبالطبع لن ينظر أحد نظرة جدية الى كتابة القوانين الكلاسيكية للتأليف الموسيقى بشفرة رياضية (بالرغم من أن هذا ممكن من حيث المبدأ) ثم تفويض آلة فى القيام بعملية التأليف الموسيقى الخلاقة . ولكن استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى لعب الشطرنج وباقى الالعاب المشابهة أمر مختلف تماما ، اذ وجد ان المجهود الذى يبذل فى تشغيل مثل هذه الآلات فى هذا الميدان وكتابة البرامج اللازمة لها له علاقة وثيقة بتطوير

مجموعة كبيرة من مكنات التحكم اللازمة في الاغـراض الصـناعية والحربية ٠

ولكن يحق لنا الآن ان نتساءل : كيف يمكننا ان نجعل آلة تقوم بمثل هذه العمليات الخلاقة مثل لعب الشطرنج ؟ ٠ في الواقع تحكم مثل هذه اللعبة قوانين صارمة يمكن أن يعالجها برنامج الآلة الحـاسبة ٠ وأهم خطوة هنا هي « تعليم » الآلة الحاسبة كيفية اختيار أو حساب أحسن حركة (من بين عدد كبير من الحركات الممكنة) مع اعتبار القواعد الأساسية للعبة ٠ ولما كانت الآلات الحاسبة الرقمية لا تتكلم الا لغـة الأرقام ، فانه من المناسب جدا تقدير قطع الشطرنج والأماكن المختلفة على الرقعة بالنقط ، فمثلا يقدر الملك بـ ٢٠٠ نقطة والوزير بـ ٩ نقط والطابية بـ ٥ والفيل بـ ٥ر٠ والفرس بـ ٣ر٠ وهكذا ٠ ونظرا لمقدرة الآلة على تقدير « ميزة » كل حركة عن طريق حساب عدة حركات ممكنة مقدما ، فانها تستطيع اختيار الحركة « المثلى » وتهزم دائما أى خصم لا يستطيع تقدير عدد مساو من الحركات مقدما كما تفعل الآلة ٠ وكلما زاد عدد الحركات التى يمكنها حسابها زادت فرصتها في الكسب ٠ ويعتبر تحـديد الحل « الأمثل » من الأمور ذات الأهمية العظمى في تشغيل مكنات التحكم التى سنتكلم عنها فيما بعد ٠

وتأخـذ عملية « تعليم » الآلة الشـكل الآتى : لنفترض أن الآلة لا « تعرف » في بداية لعبها للشطرنج الا معلومات سطحية عن استراتيجية اللعبة ومعلومات ناقصة جدا عن سماتها المميزة ، فمثلا لا تعرف الا القواعد الأساسية للعبة وبعض القوانين التاكتيكية والطرق اللازمـة لتحسينها ــ وهذا هو الأهم ــ أى أسس « تعلمها » في أثناء اللعب ٠

ثم تبدأ الآلة في تحسين نفسها وزيادة « معـلوماتها » بالطـرق الآتية : اما أن تقوم بحركات تجريبية وتتذكر النتـائج المفيـدة وتمحو النتائج غير المفيدة ، أو أنهـا تقلد خصما أقوى منها ، أو تحصل على المعلومات اللازمة من الخارج مثل مراقب خارجى أو « معلم » يدخل في البداية أوامر لكل حركة تالية على برنامج أوامر الآلة وهو بهذا يقاسم الآلة خبرته ، أو أن تقوم الآلة نفسها بتحليل أخطـائها وسير اللعب عموما بغرض اتقان الأسس التاكتيكية العامة للعبة ٠

وحتى تستطيع الآلـة أن تؤدى مثل هـذا التحليـل وتحسن « استراتيجيتها » وتغير « طريقة » لعبهـا ، يجب أن يحتـوى برنامج

الآلة على ما يمكنها من أن تدخل فى اعتبارها « خبرتها » التى اكتسبتها من الألعاب السابقة وتستجيب للتعليمات الخارجية ٠

وبالطبع ليس استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى لعب الشطرنج والضامة والنرد والورق وباقى الالعاب المشابهة ووضع البرامج لتحسين استراتيجية اللعب ذاتيا هدفا فى حد ذاته ٠ بل ان تصميم الآلات « المتعلمة » ووضع البرامج التى تمكنها من تحسين نفسها ذاتيا ان ذلك يساعد الانسان على توسيع امكانيات الآلات الحاسبة الالكترونية ٠ وستصبح مثل هذه الآلات ذات قيمة اقتصادية كبرى فى المستقبل ٠ كما أن الحصول على القيمة « المثلى » يعتبر عملية أساسية بالنسبة لمكنات التحكم التى سنتناولها فيما بعد ٠

ويوما بعد يوم ، تتقدم حدود استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية الى الأمام ، وتتحسن التصميمات ، وتظهر أنواع أكمل وأحدث ، وقد تغلغلت هذه الآلات بالفعل فى تلك الميادين مثل الفيزياء النووية واللاسلكى والالكترونيات والكيمياء والبيولوجيا ، كما تستخدم للقيام بعمليات هامة فى التحكم الذاتى وأجهزة التنظيم ، وفى ميكنة عمليات التحكم فى الهيئات الصناعية والبلدية والادارية ٠

ومن المتوقع ظهور آلات حاسبة الكترونية أكثر اقتصادا وأصغر حجما وأكثر عولا وتستطيع القيام بعمليات جمع وطرح تصل الى ١٠٠٠٠٠ فى الثانية فى المستقبل القريب ٠

الصمامات تترجم

بعد ظهور أولى الآلات الالكترونية الحاسبة بقليل ، فتح أمامها ذلك الباب المغرى وهو استخدامها فى الترجمة من لغة الى أخرى ٠ فالمعروف ان أية لغة تحكمها قواعد محددة من الاشتقاقات اللفظية وقواعد اللغة ٠ وتتم الترجمة من لغة الى أخرى طبقا لقواعد محددة يمكن وضعها على شكل برنامج لآلة حاسبة الكترونية رقمية ٠ والجملة الآتية التى قالها العالم الامريكى ويفر من أهم ما قيل فى هذا المجال : « ان أى مكتوب باللغة الصينية ما هو الا كتاب باللغة الانجليزية مكتوب بشفرة صينية » ٠ وهذه العبارة تؤكد تجانس عمليات الفكر الانسانى ٠ اذ أن جوهر هذه العملية لا يعتمد على اللغة أو الحروف المستخدمة فى التعبير

عن فكرة معينة . وهذا هو الأساس الذى يجعل تسخير الآلة الحاسبة فى الترجمة ممكنا .

وحتى الآن لا يمكن للآلات الحاسبة الالكترونية الموجـــودة القيام بترجمة كتاب أو مخطوط مباشرة ، لأن لغة الآلات الحاسبة هى الأرقام . ولهذا يجب أولا ان يستبدل النص الحرفى بنص رقمى بطريقة تشبه تلك المستخدمة فى نقل التلغرافات بجهاز بودو . ففى هـــذا الجهاز يســتبدل كل حرف من حروف الرســالة بمجموعة مكونة من رقمين . وبهذا تمثل كل كلمة من الرسالة برقم معين .

ولاستخدام الآلة الحاسبة الالكترونية الرقمية فى الترجمة الآلية ، وضع الخبراء قاموسا استبدلت فيه الكلمات بأرقام مناظرة . ويتكون القاموس من جزئين ، انجليزى وروسى مثلا . ويدخل القاموس والبرنامج الى ذاكرة الآلة بحيث يمكن العثور على كل كلمة من كلمات القاموس تحت رقم معين .

فاذا كان هناك معنى واحد لكل كلمـــة من كلمات النص المراد ترجمته فى اللغة الأخرى وكان ترتيب الكلمات فى اللغتين واحدا ، يمكن أن تتم الترجمة الآلية كما يلى : عند قراءة كلمة باللغة الانجليزية مثلا (أو بمعنى أدق رقمها المناظر) ، تقارن الآلة هذه الكلمة بكل الكلمات الانجليزية (أو أرقامها المناظرة) المختزنة فى القاموس الانجليزى ، ثم تبحث (بطرح احد الرقمين من الآخر للحصول على الصفر) عن الكلمة الصحيحة وتتذكر رقم خلية الذاكرة التى بها الكلمة الروسية المناظرة لها . وبهــذه الطريقة يطبع جهاز الخرج فى الآلة الحاسبة أوتوماتيكيا الكلمات الروسية التى تكون الجملة المترجمة .

ولكن الأمور أعقد من هذا بكثير فى الواقـــع ، اذ يختلف ترتيب الكلمات فى معظم اللغات اختلافا بينا ، وبالاضافة الى ذلك قد يتغيــر معنى الكلمة الواحدة حسب وضعها فى الجملة واستخدامها مع الكلمات المجاورة لها . وكما يستخدم الانسان كثيرا فى لغته اليومية كلمات مختلفة للتعبير عن نفس الشيء ، فان الكلمة الواحدة كثيرا ما يكون لها عدة معان ، وعند الترجمة من لغة الى أخرى نادرا ما يمكن الترجمة كلمة بكلمة اذ تحكم تركيب الجملة فى كل لغة قواعد محددة ، كما ان بعض الكلمات لا معنى لها فى ذاتهــا ولا تمكن ترجمتها منفردة بأية حال من الأحوال . ولهذا السبب لا يمكن للآلة أن تقارن ببساطة كلمة بأخرى بل يجب أيضا أن تقوم بعدد من العمليات المعقدة الأخرى . فمثلا اذا كان

لكلمة ما عدة مترادفات فى لغة أخرى ، يجب أن تنتقى الآلة الحاسبة المعنى الصحيح بحيث تدخل في اعتبارها معنى الجملة ، وبالاضافة الى هذا يجب أن تقوم الآلة الحاسبة عند استبدال كلمات لغة ما بكلمات لغة أخرى أن ترتب الكلمات المترجمة ترتيبا صحيحا فى جملة سليمة من حيث قواعد اللغة ٠

ولما كانت الآلة الحاسبة لا تعقل ، فانها لا تستطيع بالتالى تحليل معنى الكلمة من معنى الجملة ، اذ انها لا تستطيع الا القيام بتحليل آلى بالاستعانة بالقوانين القياسية التى وضعها الانسان أولا ثم غذيت للآلة على شكل برنامج تحليلى ٠ وكل هذا يعقد البرنامج اذ يحتوى على عدد من الأوامر أكبر بكثير من البرامج الموضوعة لحل كثير من المسائل الرياضية ٠ ونتيجة لهذا مازالت امكانية الترجمة بالآلة الحاسبة الالكترونية محدودة جدا ٠

وقد تكون المناسبة الآن مواتية لنذكر بعض الاحصائيات ، فمثلا تحتوى اللغة الالمانية الحديثة على حوالى ٤٠٠ ٠٠٠ كلمة ، وهذا بالطبع أكبر من مقدرة ذاكرات الآلات الحاسبة الالكترونية الحالية (١) ، ولكن لحسن الحظ تستخدم ٥٠٠٠ كلمة فقط فى تسعة اعشار الحديث ، وهذه كمية يمكن اختزانها فى ذاكرة الآلات المخصصة للترجمة ٠ ويكفى لترجمة نص فنى باللغة الانجليزية تخزين قاموس يحتوى على ١٠٠٠ كلمة عامة و ١٠٠٠ مصطلح فنى ٠

وهذا يعنى أنه بالرغم من أن الوقت مازال مبكرا جدا للكلام عن ترجمة القصص ، فان ترجمة الكتابات الفنية وفقرات الانباء ٠٠٠ الخ تعتبر مشكلة الوقت الحاضر ، اذ أن ترجمة القصص ليست صعبة بسبب الحجم الهائل من الكلمات فحسب بل أيضا لأن القصص تمتلىء بتعبيرات تتعلق بحياة الناس وقد لا تعنى شيئا اذا ترجمت آليا ، وفى مثل هذه الحالات لا يستطيع المترجم أن يترجم حرفيا بل يجب أن يصيغها فى عبارة تحافظ على المعنى المطلوب ، ولا شك فى أن مثل هذه الترجمة لا يمكن أن تتم آليا ٠

وحتى الآن مازالت الترجمة بالآلات الحاسبة الالكترونية فى مرحلة الاستكشاف ، اذ لم تتم سوى الخطوات الأولى فى هذا الاتجاه ٠ ولم يحاول العلماء الا ترجمة نصوص فنية قصيرة ٠ وقد تم أول بيان عملى

---

(١) بعد كتابة هذا الكلام ظهرت آلات حاسبة يمكن لذاكرتها أن تختزن حتى ٨ ملايين رقم — المترجم ٠

للترجمة من الروسية الى الانجليزية باستخدام الآلة الحاسبة الالكترونية طراز أ ب م ـ ٧٠١ فى نيويورك سنة ١٩٥٤ · ولم يحتو قاموس هذه الآلة على أكثر من ٢٥٠ كلمة روسية فى مجالات السياسة والقانون والرياضة والكيمياء والعلوم السياسية ··· الخ ، ولهذا السبب كان لزاما أن تصاغ الجمل المراد ترجمتها بحيث لا تحتوى الا على الكلمات الموجودة فى القاموس · وحتى تكون الترجمة صحيحة ، وضعت ست قواعد للاعراب فى ذاكرة الآلة ·

وقد جرى بيان عملى للترجمة من الانجليزية الى الروسية باستخدام الآلة طراز بى سم فى موسكو سنة ١٩٥٥ · وقد احتوى قاموس الترجمة الأوتوماتيكية على ٩٥٢ كلمة انجليزية و ١٠٧٣ كلمة روسية وكان القصد منه ترجمة نص رياضى · وقد وجد ان الآلة لم تستطع القيام بترجمة مرضية لجمل مصاغة صياغة خاصة فحسب بل ايضا لمقتطفات كاملة من كتب فى الرياضة · كما امكنها ترجمة فقرة من انباء عن مؤتمر فى الرياضة ولكنها مرت فى هذه التجربة بكلمات ليست فى القاموس · وبالطبع لم تستطع ترجمتها فطبعتها بلغتها الأصلية ·

وقد ادخل الكثير من التحسينات على عملية الترجمة الآلية ؛ اذ تم بالفعل القيام بالترجمة من لغة الى عدة لغات أخرى فى وقت واحد · وقد ساعد على تسهيل الترجمة الى عدة لغات فى وقت واحد ، أن غالبية العمل الشاق الخاص بتحليل النص الأصلى لايتم الا مرة واحدة تقوم الآلة بعدها بصياغة الجمل المترجمة بلغات مختلفة ، فاذا كانت صياغة جملة مترجمة قد تمت باللغة الروسية مثلا فانه يمكن استغلال نسبة لا بأس بها من العمل الذى تم باللغة الروسية فى صياغة نفس الجملة بلغات أخرى · وبهذا يمكن باستخدام اللغة الروسية كلغة رئيسية او لغة وسيطة تبسيط الترجمة الى اللغات الأخرى تبسيطا كبيرا · وتستخدم فى الترجمة الآلية من الصينية او اليابانية الرموز التلغرافية الصينية ·

وهناك من الأسباب ما يجعل البعض يعتقد انه سوف تصمم فى المستقبل القريب آلات يمكنها أن تتلقى كتابا مطبوعا بأية لغة فتترجمه وتطبع الترجمة بسرعة فائقة ·

ويحق لنا ان نتساءل الآن عن الأسباب التى تحدونا الى ان نتصور مثل هذا التطوير فى عملية الترجمة الآلية ، بينما نرى الآلات الالكترونية الموجودة لاتستطيع الا ترجمة نصوص فنية وبسرعة منخفضة جدا ، كما لا توجد الآن الذاكرة التى يمكنها استيعاب الحجم المطلوب من المادة بحيث

تضمن فى نفس الوقت العثور على الكلمة اللازمة بسرعة ٠ فمثلا نجد ان سعة الشريط المغناطيسى هائلة ولكن سرعته منخفضة ٠ اذ للعثور على التسجيل المطلوب على الشريط يجب ادارة عدة أمتار منه ، الأمر الذى يستغرق وقتا لا بأس به ، بينما نجد أن التسجيلات التى تتم بوساطة انبوب أشعة المهبط عالية السرعة ولكن سعتها محدودة جدا ٠

وقد حلت هذه المشكلة بوساطة وسائل جديدة للتخزين صممت فى معمل النماذج الالكترونية التابع لاكاديمية العلوم السوفيتية ٠ ولا تحتوى هذه الوسائل على أجزاء متحركة بعكس الوسائل المغناطيسية الحالية ، ولهذا فهى لا تبلى ، وهذا يعنى ان مثل هذه الذاكرات يمكنها ان تعمل لمدة طويلة جدا ويمكنها أن تختزن المعلومات الى ٥٠ أو مائة عام ٠ وفى نفس الوقت تستطيع هذه الأجهزة أن تسجل أربعة ملايين صفحة من الصفحات المعتادة أو تقرأها فى ساعة واحدة ٠ وبعبارة أخرى تستطيع الآلة ان تمر على محتويات مكتبة بها ١٠٠٠٠ مجلد ضخم فى ساعة واحدة ٠

وتصنع عناصر هذه الذاكرة الجديدة على شكل الواح من مادة عازلة تطبع عليها ــ باستخدام طلاء خاص ــ شبكة موصلة وعناصر حاثة او سعوية أو مقاومة ، وتجمع مثل هذه الألواح فى مجموعات وتوصل الواحدة منها بالاخرى أو بالدوائر المختلفة فى الآلة الحاسبة الالكترونية بموصلات عادية ٠

ومن أهم ما يلاحظ بالنسبة لهذه الطريقة أنها تحتاج الى مكان أصغر بكثير من الذاكرات الحالية ، كما تستهلك قدرة أقل بالنسبة لنفس الحجم من المادة المسجلة ٠ وتخيل مكنة تستطيع ترجمة الحديث مباشرة ، اذا ظهرت الحسابات أن بمثل هذه السرعة العالية تستطيع الآلة الحاسبة الالكترونية ان تترجم المحادثات بين عشرة ازواج من المتحدثين اواثنى عشر فى وقت واحد (يتحدثون بسرعة متوسطة قدرها حوالى ٢٠ حرفا فى الثانية) ٠ وفى هذه الحالة تعمل المكنة كما لو كانت أستاذا فى الشطرنج يلعب على عدة رقاع فى وقت واحد ، اذ تتذكر الجمل التى ينطق بها جميع المتحادثين وتترجمها بسرعة تجعل الزمن بين الجملة المنطوقة وترجمتها لا يكاد يشعر به أحد ٠

وتعتمد امكانية الترجمة الفورية للخطب أو المناقشات على النتائج الأولية التى تم الحصول عليها من تحليل الكلام وتصنيعه ٠ ولهذا يجب أن تزود الآلة بوسيلة لتحليل الكلام وتحويله الى شفرة رقمية ٠

وقد ثبتت بالفعل امكانية صنع آلة يمكنها أن تحاكى صوت ممثل ما أو تغنى بصـــوته اذا كان نطقه للحروف المتحـركة والســاكنة والمقاطع المختلفة مسجلا من قبل ٠ وتستطيع مثل هذه الآلة أيضا ان تقرأ كتابا أو تغنى مقطوعة موسيقية من النوتة اذا زودت بجهــاز لتحليل الرموز المطبوعة ٠

ولكن مثل هذه الآلة التى تحلل الصوت الآدمى وتحاكيه لا تزال من أحلام المستقبل ٠ ولا شك فى أنه سيسبقها صنع آلات مترجمة يغذى اليها النص بالاستعانة بآلات تشبه الآلة الكاتبة الى حد ما ، وكذلك يطبع النص المترجم بوساطة هذه الآلة ٠

وجدير بالذكر هنا أن هذه السرعة العالية جدا والسعة الكبيرة التى تتمتع بها هــذه الذاكرات الجديدة ستمكن من صناعة آلات خاصة لتبادل المعلومات والاحصائيات ٠

ويمكن الاحســـاس بأهمية هذه الآلات اذا عرفنا ان عدد الكتب والمقالات العلمية والتقارير التى تطبع سنويا يصل الى ٢٠٠٠٠٠ ، وفى المكتبات الكبرى الآن الملايين من الكتب والمجلات ويتضاعف عددها كل عشر سنين أو خمسة عشر ٠ وواضح أنه بزيادة المطبوعات بهذا الشــكل تتزايد صعوبة الحصــول على معلومات وافية عن اى موضوع يوما بعد يوم ٠

كذلك لا يمكن للانسان أن يتصور التحكم فى الصناعة بغير تحليل لعمل الهيئات المستقلة ٠ ويعتمد مثل هذا التحليل على التقارير السنوية التى تحتوى أكثر من مائة مؤشر مختلف (وســائل الانتاج والتوزيع ، الأرباح والخسائر ، استهلاك المواد الخام ، المنتجات نصف المصنعة والأجهزة الكاملة ٠٠٠٠ الخ) ٠

ولتحليل بيانات ١٠٠٠٠٠ تقرير يحتاج مكتب الحسابات فى الوقت الحالى الى ٤٠٠ وردية عمل ٠ وتستطيع الآلة الحاسبة الاحصــــائية التى تستخدم الذاكرة الجديدة التى سبق الكلام عنها ان تقوم بهذا العمل فى دقيقة واحدة ٠

الصمامات تتحكم

نظرا لاستطاعة الآلة الحاسبة الالكترونية مقارنة نتائج الحســابات واختيار احسن الحلول ، فانه يمكن استخدامها فى التحكم والتنظيم ٠ وهذا قد يعنى التحكم فى مكنة تشغيل معادن أو طائرة أو صاروخ أو المرور

فى الشوارع أو اطلاق المدفعية ... الخ ، كما قد نعنى بالتنظيم ، تنظيم العمليات التكنولوجية المعقدة الخطرة على الانسان أو الضارة به ، مثل صهر الصلب والحديد والزهر أو تكرير البترول أو تنظيم العمليات الذرية والكيميائية ، وأخيرا قد تعنى التحكم فى تشغيل ورشة أو مصنع أو شبكة توزيع القدرة الكهربية فى الدولة بأكملها ... الخ .

وطريقة عمل الآلات الحاسبة الالكترونية المستخدمة فى أجهزة التحكم هى فى أساسها نفس الطريقة التى تعمل بها الآلات الحاسبة الالكترونية التى تقوم بالحسابات ، كما أنها تزود أيضا ببرنامج يتحكم فى تشغيلها والاختلاف الوحيد هنا هو فى أن الآلات المخصصة للتحكم لا تعطى نتائجها على شكل أرقام على هيئة اشارات آمرة تتحكم فى المكنات الأخرى . وهنا تتصل الآلة الحاسبة الالكترونية بعدد من الأجهزة اتصالا مباشرا ، فأولا الأجهزة التى تراقب التغيرات الحادثة فى الشىء المراد التحكم فيه ، وثانيا آليات التشغيل التى تعيد الشىء الى الحالات المطلوبة أو تغير حالته حسب ما يتطلبه البرنامج .

وعادة تعطى أجهزة القياس التى تراقب حالة الشىء المراد التحكم فيه بياناتها على شكل قيم متغيرة باستمرار (نظائر) لا فى الصورة العددية التى « تعودت » عليها الآلات الحاسبة الرقمية . فمثلا قد تكون القيم المراد التحكم فيها هى الفلطية فى طائرة ما وسرعتها وارتفاعها ، أو درجة حرارة فرن ما والضغط بداخله ... الخ . وفى هذه الحالة تزود الآلة الحاسبة الالكترونية بأجهزة دخل خاصة تحول القيم المتناظرة الى قيم عددية . ويتكرر نفس الشىء بالنسبة لأجهزة خرج آلات التحكم حيث تزود عادة بمحولات خاصة لتوصيل الآلة الحاسبة بالشىء المراد التحكم فيه .

ولكن كيف تستطيع الآلات الحاسبة الالكترونية أن تتحكم ؟ باستقبال المعلومات عن حالة الشىء المراد التحكم فيه من أجهزة القياس ، تقارن الآلة الحاسبة المتحكمة الالكترونية باستمرار بين هذه المعلومات ونتائج الحسابات التى تقوم بها على بيانات الدخل على أساس البرنامج . فاذا لم تتطابق القيمتان المقارنتان ترسل الآلة أمرا الى آلية التشغيل التى تتحكم فى الشىء .

ويجب ان نؤكد هنا انه لا يمكن استخدام الآلة الحاسبة الالكترونية فى التحكم الا اذا كان سلوك الشىء المراد التحكم فيه محكوما بقواعد محددة ، اى اذا كان يمكن التعبير عنه رياضيا وكان يمكن صياغة العمل

المنوط بالآلة فى شكل برنامج مكون من عمليات واضحة ومحددة . فمثلا لا يمكن التحكم ـ باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية ـ فى تلك العمليات الانتاجية المتالورجية التى لم تمكن صياغتها رياضيا بعد .

ويمكن أن يساعد برنامج الآلة على تقدير سلوك الشىء المراد التحكم فيه فى المستقبل . ولهذا الغرض تقوم الآلة بحساب عدة نماذج من السلوك للشىء المراد التحكم فيه حسب تغير ما قد يتغير داخله وخارجه .

وعندما تحصل الآلة على نتائج هذه الحسابات المختلفة تقارنها بمعايير محددة من قبل (مثل أقل استهلاك للوقود أو نوع الانتاج) وتختار أحسن نمط . ومثل هذه الآلات تكيف نفسها حسب البيئة وحسب ما تتحكم فيه ، وهى « تتذكر » أحسن نمط للتحكم لكل حالة و « تجمع » الخبرة . وقد عرفت أجهزة التحكم هذه بأنها « تضبط نفسها » أو « تحسن نفسها » وينتظرها مستقبل رائع .

ولنذكر بعض الأمثلة لاستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى أجهزة التحكم والتنظيم . فقد حققت الصناعة اقتصادا كبيرا فى النفقات باستخدام الالات الحاسبة الالكترونية للتحكم فى مكنات قطع المعادن . وقد تمت أولى التجارب فى هذا الميدان فى الماضى القريب فى سنة ١٩٥٠ . فقد كان من الضرورى ـ عند صنع اجزاء ذات اشكال معقدة باستخدام مكنة نساخة ـ أن تصمم القطعة أولا وترسم ثم يصنع نموذج لها لتنسخه المكنة ، أما اذا استخدمت مكنة نساخة يتم التحكم فيها الكترونيا فيكفى لها برنامج حساب . وباتباع اوامر البرنامج ، تصمم الآلة الالكترونية اوتوماتيكيا القطعة بدون تدخل الانسان وتختار الأوامر اللازمة للتحكم فى أداة القطع فى المكنة النساخة وتضمن صحة تتابع مراحل التشغيل المختلفة وتقارن باستمرار بين أبعاد القطعة المصنوعة وبيانات التصميم . ويمكن ان توضع الآلة الحاسبة خارج الورشة وتتحكم فى تشغيل عشرات المكنات حسب عدد القطع المراد صناعتها .

وفى نفس ذلك الوقت أيضا بدأت أولى المحاولات لاستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى قيادة الطائرات . ففى الفترة من ١٩٤٨ الى ١٩٥٢ كان أول جهاز لقيادة الطائرات باستخدام الآلة الحاسبة الالكترونية التى سميت « ديجيتاك » فى مرحلة التطوير والاختبار . وأجريت الاختبارات على طائرة نقل طارت فى دائرة مقفلة على هيئة شكل رباعى غير منتظم بسرعة ٢٥٠ كيلو مترا فى الساعة . وكانت نتائج الاختبارات باهرة ، اذ وجد أن الطائرة التى طارت أوتوماتيكيا تحت اشراف آلة الكترونية طارت ألطف وأدق بكثير مما لو قادها طيار . وقد شغلت الآلة

الحاسبة التى ركبت فى الطائرة حجما قدره ١٦ر٠ مترا مكعبا وكان وزنها ٥٩ كيلو جراما • وكانت اهم مميزاتها عموميتهـــا • فطبقا للتعليمات الموجودة فى البرنامج ، لم تقد آلة التحكم الالكترونية الطائرة فى طريقها المرسوم فحسب بل كانت تحدد مكانها ايضا بصفة مســتمرة (طبقا للبيانات التى تستقبلها من ثلاث محطات ملاحية أرضية) كما أنزلتها الى الأرض ••• الخ • وكان هذا « الطيار الآلى » مجرد تجربة أولى فى هذا المجال • أما الآن فهناك أجهزة الكترونية لقيادة الطائرات أحسن منه بكثير •

وفى حل مثل هذه المسألة المعقدة كقيادة طائرة ، تقوم الآلة الحاسبة فى الحقيقة بنفس مجموعة العمليات المعتادة بالنسبة لها ، اذ تقارن الوحدة الحسابية باستمرار بين المكان الفعلى للطائرة ــ والتى تحصل عليه من أجهزة الملاحة ــ والبيانات الموجودة فى برنامج الطيران • وتصحح الآلة الالكترونية مسار الطائرة طبقا لنتائج هذه المقارنة •

وقد أدت هــذه العمــومية للآلات الحاسبة الالكترونية الى فكرة استخدامها فى جميع الأحوال التى يجد الانسان فيها صعوبة فى معالجة كمية هائلة من البيانات • فمثلا ليس من السهل التحكم فى المرور فى مدينة كبيرة ، وهنا نجد أن نظاما موحدا للتحكم يكون عظيم الفائدة حينما يحصر جميع الطرق العمومية والتقاطعات ويدخل فى اعتباره ظروف المرور فى أماكن معينة فى أوقات معينة • وقد أدى هذا الى ظهور « آلات التحكم فى المرور » • ويحسب هذا النوع من الآلات الالكترونية أنسب الأوقات لتحويل اشارات المرور وذلك بعد الحصول على البيانات اللازمة عن عدد السيارات المنتظرة عندالاشارة الحمراء وبعد اعتبار زمن الانتظار والموقف فى التقاطعات الأخرى • وبهذا يصبح من السهل من حيث المبدأ ، حل مشكلة أعقد من هذه ، ألا وهى التحكم فى السيارات ، لا بدون شرطى المرور فحسب ، بل أيضا بدون سائق • وهناك بالفعل طريق عام تجريبى تطبق فيه قوانين المرور المعتادة وفيه تتخطى السيارات السريعة تلك البطيئة بدون ادنى احتمال للحوادث •

ومن المفيد أيضا استخدام ما يسمى « المراقب الآلى » للتحكم فى حركة الطائرات فى المطارات • فعندما تتلقى الآلة البيانات الخاصة برقم الطائرة التى تستعد للهبوط وتدرس موقف الحركة فى المطار يمكنها أن تضع برنامج الطيران لكل طائرة من الطائرات التى تحلق فوق المطــــار وترسله اليها ، وبهذه الطريقة تنظم الحركة فوق المطار .

ولكننا نجد أن أكثر النتائج التى يمكن الحصول عليها وضوحا ، هى التى تستخدم فيها الآلات الالكترونية التى تستطيع التحكم فى مصانع كاملة أو مناجم أو محطات قدرة · فان هذه المهمة أعقد بكثير بالطبع من مجرد التحكم فى مخرطة مثلا أو منشأة تكنولوجية ، اذ لا يستطيع القيام بهذا العمل الا آلة الكترونية أعقد بكثير من سابقتها ، كما أن برنامجها يكون أكثر تعقيدا هو الآخر · وفى سنة ١٩٤٩ ، أنشىء فى الولايات المتحدة معمل تكرير بترول كان يدار بالكامل بوساطة آلة الكترونية من هذه الآلات ، وفى هذه الآلة جمعت كافة أجهزة القياس فى وحدة تحكم واحدة مزودة باشارات ضوئية وصوتية ، فاذا تغير الضغط أو درجة الحرارة أو أى من العوامل الأخرى فى احدى منشآت المعمل ، يضىء مصباح أو ينطلق صوت لينذر العامل الوحيد بالمعمل بالعطل · وهناك مثل آخر للمصانع الآلية ألا وهو مصنع كيميائى فى أوكلاند ينتج ٦٠ طنا من ثانى اكسيد الكربون فى اليوم ، ويعمل فى المصنع عاملان أحدهما موكل بتسليم الثلج الجاف الى المخازن ·

ولا نتوقع فى هذه الحالة أن تقوم الآلات الالكترونية التى تتحكم فى المجموعات الصناعية المعقدة او محطات القدرة ، بتنفيذ ارادة الانسان تنفيذا « أعمى » اذ لا تحتفظ الآلات التى « تضبط نفسها » بحالة الشىء المراد التحكم فيه ثابتة فحسب بل تدخل فى اعتبارها التغير فى الظروف المحيطة وتختار أحسن الظروف و « تتعلم » أثناء عملها بحيث تستفيد من أخطائها السابقة ·

وقد فتحت الآلات « المتعلمة » صفحة جديدة فى تاريخ التحكم الآلى تصور فرنا عاليا ينتج الحديد الزهر بنفسه تماما كما تقوم مخرطة آلية بصناعة المسامير والصامولات والقطع الأخرى بدون أى تدخل من الانسان ·

قد يقول القارىء ان هذا مستحيل ، اذ تشكل المخرطة الآلية القطع المختلفة من خامات نصف مصنعة ذات أبعاد محددة من قبل ، كما انها تقوم ببعض العمليات القياسية مثل التثقيب والقلوظة وفصل القطعة المصنعة من الخامة نصف المصنعة · ومثل هذا العمل يمكن جعله أوتوماتيكيا · وتصبح وظيفة الانسان مجرد ضبط المكنة الأوتوماتيكية ومراقبة عملها ، ولكن الفرن العالى شىء آخر ، اذ لا يستخرج الحديد الزهر من خامات نصف مصنعة · ولكن من شحنة معقدة تحتوى على كثير من المكونات بالاضافة الى الخام وفحم الكوك · وتختلف خواص الخليط اختلافا بينا ، اذ تختلف رطوبته ، وكذلك لا يثبت تركيب الخام ولا المحتوى الرمادى فى فحم الكوك عند قيم واحدة ، كذلك تتغير درجة حرارة الهواء الداخل الى الفرن وضغطه ·

وليست هذه هى كل الفروق بين عملية الفرن العالى وتشغيل المخرطة ، فان العمليات التى تتم أثناء صناعة مسمار لا تختلف عن تلك التى تتم أثناء صناعة مسمار آخر بأى حال من الأحوال • ولكن تختلف كل صبة وبالذات كل دورة من بدء اشعال الفرن الى اطفائه من غيرها ، وهذا أمر حتمى بالنظر الى تعقد العملية ومدى الفروق الجوهرية فى الظروف التى تتم فيها دورة الانتاج فى الفرن العالى والتى يصعب جدا ادخالها فى الاعتبار •

وحتى الآن لم يتم سوى تحكم آلى جزئى فى عمليات الفرن العالى • ويتم التحكم في ظروف درجة الحرارة وضغط الغاز وتركيب الشحنة .. الخ كل على حدة • ويمكن للعامل ان يضبط ظروف أجهزة التحكم حسب التغير فى سير العمليات • وبهذه الطريقة تخفف المكنات الأوتوماتيكية العبء الملقى على عاتق الانسان وتجعل عملية الصهر أكثر انتظاما وتقلل الأخطاء المحتملة فى تشغيل الفرن العالى • وبعبارة أخرى تؤدى المكنات الآلية بنجاح الواجبات التى يضبطها عليها الانسان ولكنها تعجز عن أن تتحكم تحكما كاملا فى الدورة بأكملها من بدء اشعال الفرن العالى الى ايقافه •

والسبب الرئيسى فى هذا هو ان ما يتم داخل الفرن العالى عملية معقدة جدا ولم تفهم تماما حتى الآن • وبالمستوى الحالى للتحكم الآلى ، تستطيع الآلة الحاسبة الالكترونية ان تنظم تشغيل جميع الأجهزة الاوتوماتيكية التى تتحكم فى الفرن العالى ، ولكننا لسنا على درجة كافية من المعرفة لكتابة البرنامج اللازم لتشغيلها •

وفى الحقيقة تعمل مكنات التحكم الآولى الى حد ما كرجل يتبع التعليمات التى أعطيت له • وتحتوى التعليمات على عدد من العمليات المتتابعة التى عليه أن يقوم بها • ويمكن القول بأن كلا من هذه العمليات عبارة عن رد فعل معين من العامل لأحد التغيرات التى يتعرض لها الشيء المراد التحكم فيه • وتتخذ التعليمات عادة الشكل المنطقى : « اذا حدث كذا فافعل كذا » • فمثلا اذا تراكمت كمية كافية من الحديد الزهر المنصهر فى الفرن العالى ، فان على العامل ان يفتح صنبورا معينا ليفرغ المعدن وذلك بالاستعانة بمكنة خاصة •

ولا يستطيع جهاز التحكم الذى يحل محل الانسان أن يعمل بدون تعليمات ، ولوضع مثل هذه التعليمات يجب معرفة العملية جيدا •

ولكن يمكن للعامل الماهر أن يتحكم فى عملية لا يعرف عنها الا القليل بدرجة عالية من المهارة بدون أية تعليمات ، اعتمادا على خبرته

السابقة • وفى بعض الأحيان لا يتبع العامل التعليمات حرفيا حتى اذا كانت لديه تعليمات واضحة ، بل يقوم ببعض التصحيحات أثناء العملية حسب ما تقتضيه الظروف • ويمكن للعامل الماهر ان يجدد فى التعليمات بحيث يؤقلمها مع التغيرات التى قد تحدث فى الشىء المراد التحكم فيه •

وقد وجد ان الآلة الحاسبة يمكنها أيضا ان تؤقلم نفسها مع التغيرات التى قد تحدث فى الشىء المراد التحكم فيه والظروف المحيطة به • وتوضع لهذا الغرض تعليمات خاصة للآلة تمكن من ادخال كل التغيرات الممكنة فى الاعتبار • وبعد هذا تقوم الآلة بتحليل المعلومات التى تتلقاها أثناء العملية والتغيرات التى قد تطرأ على ظروفها ثم تقدر أهميتها من وجهة نظر بعض المعايير المحددة من قبل (مثل أقل استهلاك للوقود أو نوع الانتاج) ثم تختار أحسن نمط للتحكم • وأكثر من هذا ، اذا حدثت بعض التغيرات فى عملية التحكم وكانت قد حدثت من قبل ، « تتذكر » الآلة ما فعلته فى الحالات المشابهة لأن لها « ذاكرة » وتغير سلوكها على أساس الخبرة السابقة ، كما يمكنها ان تحسب حساب التغيرات التى قد تحدث فى المستقبل وتتنبأ بما ستقوم به عند حدوثها •

ولما كانت الآلة « تتذكر » جميع أعمالها وأخطائها السابقة وما قامت به بنجاح ، فاننا نجد ان هناك تعليمات جديدة تظهر بالتدريج فى ذاكرتها ، هذه التعليمات قد وضعتها الآلة لنفسها •

وأكثر من هذا ، يمكن للآلة ان تحاكى خبرة الانسان • وقد تمت بالفعل تجربة وصلت فيها آلة حاسبة جهزت لتتحكم فى احدى عمليات الفرن العالى وزودت بتعليمات (برنامج) أولية بفرن كان يقوم على ادارته مجموعة من العمال المهرة • وفى أثناء فترة التمرين وصلت أجهزة القياس فقط بالآلة الحاسبة بينما فصلت الأعضاء التى تتحكم فى العملية عنها وتولى أمرها العمال •

وبوساطة برنامجها وقراءات الأجهزة ، قامت الآلة بحساب بعض الأوامر لأعضاء التحكم فى الفرن ونفذتها ، ولكن الآلة لم تكن تتحكم فى العملية بالفعل بل كانت تقارن أوضاع أجهزة التحكم التى حسبتها بتلك التى ضبطها العمال فقط • فاذا حدث اختلاف بين الوضعين تدخل الآلة أوتوماتيكيا التغيرات اللازمة فى برنامج الحساب • وبعد ثلاثة أشهر من هذا « التمرين » وصلت الآلة بأعضاء التحكم وقامت بتشغيل الفرن العالى بالكامل بنفس درجة مهارة الفريق الذى قام بتعليمها •

وهنا يجب لنا ان نتساءل : فى أى الحالات يمكن استخدام مثل هذه

الآلات المتحكمة « المدربة » ؟ • والاجابة : فى جميع الحالات التى يجب فيها تصحيح برنامج التحكم على أساس النتائج الأولية •

ومن الأمثلة الجيدة هنا حالة مكنات الدلفنة على الساخن ، حيث تساعد أولى الكتل المدلفنة على ضبط الآلات والمكنات بدقة أكثر •

أما فى انتاج القطع المصنوعة من سبائك صلدة فقد جرت العادة على صنع كمية تجريبية أولا • وبعد تحليل مستواها يمكن للآلات ذاتية التعليم ان تحدد أحسن الظروف لتشغيل باقى القطع •

وسيكون لمثل هذه الآلات أهمية كبرى عندما تتحكم فى مصانع كاملة ، اذ تساعد على زيادة الانتاجية بتلخيصها لكل الخبرات المتاحة •

السيبرنيات

تذكرنا آلات التحكم الالكترونية التى كنا نتكلم عنها بالمخلوقات الحية التى يمكنها أن تتأقلم مع التغيرات التى تحدث فى الظروف المحيطة بها • ومن المعروف أن للكائنات الحية عددا من المنظمات الأوتوماتيكية المعقدة التى تحتفظ بدرجة حرارة الجسم وضغط الدم وباقى العوامل ثابتة • وبعبارة أخرى تخضع الظروف الفيزيائية للكائن الحى ووظائفه للتحكم •

ويمكن استخدام أساس تشغيل المنظمات فى الكائنـات الحيـة كنموذج لتصميم آلات التحكم الأوتوماتيكية • وجدير بالذكر هنا أن الانســان فى تصميمه لأولى أجهزته الأوتوماتيكية ، كان يحــاول تقليد أبسط الوظائف التى يقوم بها هو نفسه • فلا عجب اذا كانت الهندسة كثيرا ما تستخدم نفس أساسيات التحكم الموجودة فى الكائنات الحية • وقد لاحظ هذا العالم الفيسيولوجى الروسى سيشينوف الذى كتب انه وجد شبها كبيرا بين أساسيات عمل المكنات ذاتية التنظيم وتلك الخاصة بالكائنات الآدمية • فقد قام مثلا بالمقارنة بين بعض الأفعال الانعكاسية للجسم وعمل الحاكم فى آلة وات البخارية ووجدت سمات مشتركة فى أساس عملهما •

وقد قاده هذا الى دراسة أساسيات التحكم الآلى فى المكنات والكائنات الحية دراسة مشتركة • ثم جاء العالم الفرنسى امبير الذى تنبأ بظهور علم التحكم الذى لم يكن قد ظهر بعد ووضع صيغا لمسائله بطريقة تشبه

تلك التى رتب بها مندلييف خواص العناصر الكيميائية التى لم تكن قد اكتشفت حتى عصره · وسمى أمبير ذلك العلم السيبرنيات · وقد استخدم العالم المعاصر نوربرت فينر ـ أحد مؤسسى العلم الجديد ـ ذلك الاسم القديم · واذا بحثنا عن العامل الذى أوجد الدافع لنمو وتطور السيبرنيات الذى يعتبر من أهم علوم عصرنا لوجدنا انه الصمامات الالكترونية ، أو بمعنى أصح الآلات الحاسبة الالكترونية · فقد اكتسب علم السيبرينات أسلحة بحث قوية على شكل آلات حاسبة الكترونية · اذ تقوم الآلات الحاسبة الالكترونية بعدد من الوظائف التى كانت تعتبر حتى الآن من مميزات العقل البشرى · ففى وصف عمل مثل هذه الآلات لا يستطيع الانسان تجنب استخدام تعبيرات مثل « الآلة تحسب » أو « تترجم » أو « تحلل » أو « تتذكر » أو « لغة الآلة » ··· الخ وهى الألفاظ التى كانت تطلق على الانسان فقط · وقد أكدت هذه الحقيقة مرة أخرى ان عمل الآلات الحاسبة الالكترونية الحديثة له أوجه شبه كبيرة بالنشاط العقلى للانسان ·

وفى أثناء تطور الآلات الالكترونية الحديثة ، لوحظ ان أساس عملها يشبه من نواح كثيرة أساس عمل الجهاز العصبى والمخ فى الانسان والحيوان · والمخ والجهاز العصبى عضوان معقدان يتحكمان فى الكائنات الحية · ومن صفات الأعصاب انهـا اما أن تستجيب لمنبه خارجى أو لا تستجيب وليست لها حالة ثالثة · وينتقل المنبه السمعى أو البصرى أو أى منبه آخر بوساطة الخلايا العصبية الى قطاع خاص فى المخ · ويستجيب هذا القطاع للمنبه بارسال أمر الى العضو المناسب بحيث يجعله يستجيب له · ولا ينتقل المنبه بطريقة مستمرة ولكن على شكل دفعات من النبضات العصبية · ويمكن القول بأن تيارا كاملا من نبضات الاحساس يسير خلال الخلايا العصبية الى المخ ، وان تيارا عائدا من نبضات التحكم يسير من المخ الى الأعضاء المختلفة ·

وقد كانت عملية التحكم فى الكائنات الحية هذه موضع بحث منذ زمن طويل ، وقد حاول الفيسيولوجيون منذ مائة عام تصميم نموذج للجهاز العصبى الآدمى لمساعدتهم فى دراسة عملية نقـل النبضـات العصبية · ولكن لم تكن النماذج الأولى كاملة ولم تساعد الا فى دراسة تقريبية لهذه العملية المعقدة ·

الا أن ظهور الآلات الحاسبة الالكترونية أحدث ثورة فى هـذا المجال ، اذ وجد ان هذه الآلات تصلح لأن تكون نماذج رائعة لدراسـة النواحى المختلفة للنشاط النفسى والعصبى للانسان · فمثلا عندما صممت

آلة لقراءة النصوص بصوت عال للعميان ، وجد ان أساس عملها يشبه كثيرا عمليات تكوين الوصلات فى القطاعات الخاصة بالتحكم فى الاستقبال البصرى من قشرة المخ ٠

ويشتمل عمل الآلة الكاتبة الالكترونية من حيث نقل المعلومات على نفس الأسس التى يقوم عليها الجهاز العصبى للكائنات الحية ٠ وتشبه الدوائر النطاطة فى الآلات الحاسبة الالكترونية التى سبق ان تناولناها بالشرح الخلايا العصبية من حيث انها لا تكون الا فى احدى حالتين : اما ناقلة للنبضة أو غير ناقلة لها ٠ فاذا تلقت الآلة معلومات على شكل مجموعة من النبضات الكهربائية ، تنتقل هـذه النبضات فى القنوات المناسبة فى الآلة بطريقة تشبه تلك التى تنتقل بها النبضات العصبية فى الألياف العصبية فى الكائن الحى حاملة تيارا من المعلومات عن منبه معين ٠

ولتلك الوظيفة الهامة من وظائف الجهاز العصبى ، وهى الذاكرة ، شبيهتها فى الآلات الحاسبة الالكترونية ، وطبقا للبرامج المختزنة فى ذاكرة الآلة ونوع نبضات التحكم التى يرسلها جهاز التحكم ٠ ويعتبر « المخ » بالنسبة للآلة الحاسبة الالكترونية – بمثابة العضو الذى يمكنها من أن تلعب الشطرنج أو تتحكم فى مصنع أو تحل مسائل رياضية ٠

وبهذا نرى ان العمليات التى تتم داخل الآلة الحاسبة الالكترونية الحديثة تشـبه فى كثير من النواحى تلك التى تتم فى المخ البشرى ، وبالطبع تكون العمليات التى تتم داخـل المخ أكثر تعقيدا بكثير ٠ وكما قال أحد العلماء فان الجهاز العصبى آلة فائقة التعقيد ، أعقد عشرة ملايين مرة على الاقل من أية آلة اصطناعية معروفة ٠ وبالتالى فان عملها أكثر تنظيما وتعقيدا ، ومن ثم فان مشكلة فهم النشاط العصبى للحيوان أعمق بكثير من فهم عمل الآلة الحاسبة الالكترونية ٠

ولهذا لا يصح اطلاقا تعريف الآلات بالقياس بتلك التى صنعت لتفسرها ، كما يجب أن يوضع فى الاعتبار دائما ان جميع النظريات التى تحاول تفسير النشاط العصبى بمقارنته بالآلات الحاسبة هى فى جوهرها تقريب للموضوع ، اذ أن هذه العمليات متشابهة من بعيد ٠ ولكن قد يكون للأبحاث الخاصة بعمل الآلات الحاسبة الالكترونية أهمية فى اكتشاف القوانين التى يعمل بمقتضاها المخ والجهاز العصبى فى الكائنات الحية ٠

وبدراسة القوانين المسيطرة على الكائنـات الحيـة – بالاستعانة

بالنماذج الالكترونية ـ قد يتمكن الانسان من التغلب على كثير من الاضطرابات التى تحدث فى أجهزة التحكم فيه • وقد تسبب الاضطرابات فى أجهزة التحكم الحية (أى المخ والجهاز العصبى) اضطرابات وظيفية مختلفة • فمثلا هناك حالات يفقد فيها البعض المقدرة على تنظيم حركاتهم ، فاذا فهمنا آلية هذه الظاهرة قد يمكن العثور على وسيلة لمكافحتها •

وقد كانت أولى التجارب التى تمت فى هذا المجال لدراسة عمل الرئتين والغدة الدرقية بالاستعانة بنماذج الكترونية (نظائر) • وقد تم بالفعل تصميم جهاز الكترونى يحاكى عمل القلب والدورة الدموية • ويمكن لهذا الجهاز ان يرسم المنحنيات (رسام القلب) الخاصة بعمل جزء سليم أو تالف • فاذا ما انطبق رسم القلب الفعلى لمريض على واحد من المنحنيات التى يرسمها النموذج الالكترونى ، فان هذا قد يساعد الطبيب فى تشخيصه أو يؤكد تشخيصه الذى قام به بالفعل عن مرض القلب •

ويمكن استخدام طريقة مشابهة فى تحديد طبيعة الاضطرابات العصبية والنفسية ، فبالمقارنة بين رسم المخ لمريض والمنحنيات التى ترسمها آلة حاسبة بالقياس يمكن دراسة الانحرافات غير العادية فى عمل المخ • كما أن هناك من الأسباب ما يدعو الى الاعتقاد بأن النظرية العامة للتحكم والسيبرنيات يمكن أن تحل مسائل الوراثة والتناسل كما تساعد على استكشاف تلك العملية الجوهرية وهى التفكير الآدمى •

وقد يحق لنا الآن ان نذكر نماذج خاصة تصور تطوير الانعكاسات المشروطة وعملية تدريب الحيوانات • فمن المعروف ان بافلوف طور الانعكاسات المشروطة فى الحيوانات عن طريق التكرار المنتظم لنفس الدرس ، مثل تغذية كلب بعد دق جرس ، فبعد مدة كانت العصارة المعدية تظهر فى معدة الكلب بمجرد دق الجرس كما لو كان يأكل •

ولقد صمم العلماء حديثا نموذجا الكترونيا سمى « السلحفاة » • وتستطيع هذه « السلحفاة » أن تتحرك فى خط مستقيم وتدور وتستجيب للضوء والصوت • ووظيفتها الرئيسية أن تبحث عن الضوء وتتحرك صوب مصدره • فاذا واجهتها عقبة ، تتراجع وتدور دورة حادة ثم تستمر فى حركتها الى الأمام • ويمكن اعتبار تجنب هذه السلحفاة للعقبات نوعا من الانعكاس المشروط • فاذا صاحب كل اصطدام يعقبه صدور صوت سجلت ذاكرة خاصة حدوث هذين الفعلين فى وقت واحد • وبعد اعادة هذه التجربة عدة مرات تكتسب السلحفاة خاصية الانعكاس المشروط : اذ

تقوم بعملية اجتناب العقبات بمجرد « سماع » الصوت حتى قبل الاصطدام بالعقبة • فاذا كفت عن هذه التجربة لمدة طويلة « تنسى » السلحفاة الدرس ، تماما كما يحدث مع الحيوان عندما « ينسى » العادة المكتسبة بمضى الوقت اذا لم يدرب •

ويحاكى نموذج يدعى « فأر » شانون — على اسم العالم الأمريكى الذى طوره — عملية التعليم • وقد صنع هذا النموذج على شكل فار يسير فى متاهة الى قطعة من الدهن (مصنوعة من الحديد) موضوعة فى احدى خلايا المتاهة •

وفى البداية لا يجد « الفأر » أقصر طريق الى « الدهن » من أول مرة بل يتعثر فى طرقات المتاهة • فاذا قطعت دائرة الجهاز ثم أعيدت ثانية يحدث أمر « عجيب » اذ يأخذ « الفأر » أقصر الطرق الى « الدهن » بدون اضاعة أى وقت • ويكون أول انطباع أن « الفأر » قد تذكر الطريق ، أى انه قد « تعلم » • وهذا فى الواقع هو ما حدث بالضبط ، اذ زود الجهاز بذاكرة تختزن لمدة من الزمن أقصر الطرق الذى وجدها الفأر الى « الدهن » • فاذا تكررت التجربة عددا كافيا من المرات يتذكر « الفأر » الطريق ، أما اذا لم تتكرر لزمن طويل ، فانه ينساه •

و « السلحفاة » و « الفأر » هما أبسط النماذج التى يمكن ان تساعد على توضيح عملية التعليم وتطوير الانعكاسات المشروطة فى الحيوانات • ويمكن اجراء تجارب مشابهة أو حتى أكثر تعقيدا بالاستعانة بالآلات الحاسبة الالكترونية العامة • وقد وضعت عدة برامج خاصة لهذا الغرض ، وقد أتاحت هذه البرامج امكانيات واسعة لمحاكاة العمليات المختلفة التى تحدث فى الكائنات الحية •

هذه هى الموضوعات التى يواجهها علم السيبرنيات فى مبادين وظائف الأعضاء والطب • ولا تقل الموضوعات الهندسية التى يواجهها عن تلك فى التعقيد •

فان « الفأر » و « السلحفاة » وباقى الأجهزة المشابهة لا تعمل كنماذج لدراسة تطور الانعكاسات المشروطة وعمليات التعليم فحسب بل يمكن ان تستخدم كطراز مبدئى لأجهزة أوتوماتيكية جديدة محسنة • فمثلا يمكن استخدام الأجهزة ذاتية الحركة مثل « السلحفاة » فى المستقبل فى استكشاف قاع المحيط أو أسطح الكواكب حيث تنقل الى هناك بوساطة سفن الفضاء أو فى القيادة الآلية للسيارات ، وهكذا •

وكذلك يمكن للأجهزة المشابهة – التى يمكنها ان تبحث وتتذكر – أن تستعمل كطرز مبدئية لتطوير أجهزة التحكم الآلية التى قد تستطيع القيام بعملية هبوط الطائرات فى المطارات بعد أن تدخل فى اعتبارها طبيعة الحمولة فى الطائرة واستهلاك الوقود فى الأنواع المختلفة من الطائرات .... الخ .

كما يمكن ان تستخدم الأجهزة مثل « الفأر » – مثلا – كنماذج لتطوير سنترالات تليفونية أوتوماتيكية حديثة تصمم حسب أسس تختلف تماما عن تلك المستخدمة حاليا .

اذ بالرغم من كل ما بذل للوصول بالسنترالات التليفونية الأوتوماتيكية الحالية الى درجة الكمال ، فانها ما زالت لا تخلو من عيوب ، اذ يضيع وقت لا بأس به فى طلب أى رقم حتى انه اضطر الى تحديد أرقام الطوارىء والخدمات الخاصة برقمين فقط . وقد يكون هناك أقل من مائة رقم تليفون فى مفكرتك ، ولكن من هذه لا تحتاج بانتظام الا لعشرة أو عشرين هى أرقام أصدقائك المقربين أو تلك التى لها علاقة بعملك ، وهذا هو الحال بالنسبة لأى شخص آخر .

ولكن . أليس من الممكن تصميم سنترال يدخل فى اعتباره العدد المحدود من المكالمات التى يؤديها كل مشترك ويصله بهذه الأرقام بالاستعانة ببرنامج قصير ؟ تصور كم من الوقت والمجهود يمكن ان يوفر ، كما انه قد يكون من المحتمل ان يستخدم مثل هذا السنترال معدات أبسط من تلك المستخدمة فى السنترالات الحالية .

ولنفترض الآن أن « الدهن » هو الرقم الذى يطلبه المشترك وأن حركات « الفأر » هى البحث الآلى عن هذا الرقم . فبدراسة « عادات » الفأر الاصطناعى يمكن تصميم نوع جديد من السنترالات التى « يمكن تدريبها » « لتتذكر » أقصر الطرق الى الأرقام التى يتكرر طلبها كثيرا بحيث يوصلها بالمشترك أسرع من المرة الأولى .

ويمكن ببساطة تصور كيفية تطبيق نفس الفكرة لوضع قوائم استعارة أوتوماتيكية للمكتبات . وبالنسبة لهذا الاوتوماتون يكون « الدهن » هو الأماكن التى بها المجموعات الرئيسية للبطاقات التى تحتوى على الفروع المختلفة من العلم والهندسة والفنون ... الخ ، وتقسم الأقسام الكبيرة الى أقسام أصغر وتنقسم هذه بدورها الى أقسام أصغر وهكذا مكونة متاهة . وكما كان الحال فى النموذج الأصلى يدور البحث خلالها عن الكتاب المطلوب .

وعند تلقى طلب لأحد الكتب ، يبدأ « فأر » قائمة الاستعارة فى البحث فى جميع خلايا ذاكرته حتى يجد « الدهن » ، أى القسم المطلوب ثم يعطى البيانات المطلوبة ٠

وفى نفس الوقت يتذكر الاوتوماتون ما طلب منه ، فاذا تكرر نفس الطلب كثيرا ، يبدأ فى البحث عنه طبقا لبرنامج مختصر بحيث يعطى البيانات المطلوبة بأسرع من المرة الأولى ٠

ويمكن استخدام نفس الفكرة فى تصميم أوتوماتون يمكنه التحكم فى مجموعة كبيرة من العمليات التكنولوجية ، ومجموعات مختلفة من المكنات والآليات بحيث يمكنه الاستفادة من الخبرة السابقة ٠

ويعتقد العلماء انه من الممكن تصميم أوتوماتونات « منطقية » على أسس من التقنيات الهندسية البسيطة ٠ وقد نفذت هذه الفكرة بالفعل فى جهاز صمم فى معهد الأوتوماتيات والتليميكانيات التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية ٠

وهناك مجال آخر لاستخدام مثل هذه الآلات ٠ تذكر صعوبة الاتصال بمكتب الاستعلامات فى أية محطة من محطات موسكو ٠ كلما طلبت الرقم وجدته مشغولا معظم الوقت ، ولا عجب لأن هناك دائما عددا كبيرا من الناس يحاول طلب مكتب الاستعلامات فى نفس الوقت ٠

وقد ابتكر نوع جديد من الدوائر الكهربائية سيمكن السنترال من توصيل المكالمات الواحدة بعد الأخرى بترتيب طلبها ٠ فاذا طلبت الرقم فانتظر بصبر الى ان يأتى دورك ٠ وبهذا يمكن للأوتوماتون ان يسمح بتوصيل أى عدد من المكالمات كل فى دورها ٠ وبالاضافة الى هذا يمكن استخدام الدائرة الجديدة لتوزيع الحمل بانتظام على المعدات المختلفة كما فى المصاعد الموجودة فى الأبنية المرتفعة مثلا ٠ اذ عادة ما ترتب مثل هذه المصاعد فى « منور » واحد ولكن غالبا ما يستخدم ذلك القريب من باب الدخول أو الخروج أكثر من غيره ، ونتيجة لهذا تبلى المصاعد بسرعات مختلفة ٠

وتزيل هذه الدائرة الجديدة — التى يمكن استخدامها فى مجالات مختلفة اختلافا كبيرا — هذا العيب ٠ وهى من الأجهزة ذات التحسين الذاتى التى تتحكم فى العمليات بدون تدخل من الانسان ٠

وعند الحاجة ، يمكن ان تستوعب الأجهزة ذاتية التحسين ، لا الدوال الأساسية التى اختارها المصمم فحسب ، بل أيضا عددا من الخصائص

الأخرى فى أى وقت . وهذا هو السبب فى اتساع ميادين استخدامها . فمثلا عند تنظيم مرور القطارات عند تقاطع السكك الحديدية ، يمكن ان يستوعب الجهاز بالاضافة الى وقت وصول القطارات طبيعة الشحنة أيضا بحيث يسمح بمرور الشحنات سريعة العطب أو العاجلة أولا . وبهذا يمكن رفع كفاية استخدام مركبات السكك الحديدية والاسراع فى تسليم الشحنات الهامة ، وتبسيط عمل رجال التشهيلات ومنظمى سير القطارات أما اذا استخدمت مثل هذه الآلة الأوتوماتيكية فى فرز الخطابات فى مكاتب البريد ، فانها لا تدخل فى اعتبارها جداول سير قطارات البريد والطائرات وكمية البريد المراد ارسالها الى الجهات المختلفة ، بل أيضا درجات أهمية البريد .

وباختصار ، فللأجهزة التى ذكرناها بعض الخواص التى لا توجد الا فى المخلوقات الحية .

وسنتكلم الآن عن ناحية أخرى من نواحى الميكنة السيبرنية التى يمكن تنفيذها بالوسائل الالكترونية .

يمكن معالجة جميع مشاكل الاحتفاظ بسرعة محرك ما ثابتة مع تغير الحمل أو سرعة طائرة ما ثابتة مع تغير ظروف الطيران أو ضغط ثابت أو منبع هواء أو فلطية أو تيار كهربائى ثابت باستخدام أجهزة التحكم الأوتوماتيكى الحديثة . وهذه الأجهزة تحتفظ دائما بقيمة ثابتة للمتغير المـراد التحكم فيه وذلك بضبطها عليه ، كما يمكن أن تغيرها حسب برنامج محدد يضبط عليه الجهاز أيضا . ولكن هذا البرنامج لا يكون دائما هو الأحسن ، فمثلا من المستحيل نظريا ان تدخل هذه الأجهزة فى اعتبارها ــ عند التحكم فى آلة احتراق داخلى ــ تأثير درجة الحرارة المحيطة والضغط الجوى وترسيب الكربون على جـدران غرفة الاحتراق وتآكل الأجزاء المختلفة فى الآلة على ظروف تشغيلهـا . فماذا يمكننا ان نعمل فى هذه الحالة ؟ .

خطرت للعلماء فكرة : الا يمكننا ان نجعل جهاز التحكم يضبط نفسه باستمرار على أنسب الظروف للتشغيل ويبحث عن هذه الظروف المناسبة لكل عملية ؟ .

فى الحقيقة يفضل جدا تركيب مثل هذا المنظم فى قاطرة تعمل بالديزل مثلا ، اذ ان ظروف تشغيل محركها تتغير دائمـا ، فتختلف طبيعة الأرض صعودا وهبوطا ، كما ينتهى النهار بحرارته ليحل محله الليل ببرودته . ومما يؤثر أيضا على عمل المحرك ــ بل وهو أكثر

أهمية ـ ان نوع الوقود ليس ثابتا دائما • ولهذا فانه من الصعب على سائق القطار المحافظة على أحسن الظروف للتشغيل ، ونعنى بها أقصى كفاية للمحرك والاحتفاظ بها مهما تغيرت الظروف • وهنا يكون الجهاز الآلى الذى يمكنه البحث عن أحسن الظروف للتشغيل والمحافظة عليها مما لا يقدر بمال •

مثل هذا المنظم يؤقلم نفسه مع التغيرات التى تحدث فى ظروف التشغيل الداخلية والخارجية « مثل الانسان » •

وهنا نتساءل : ما الذى يقوم به الانسان للتحكم فى العمليات الدائمة التغير فى القاطرة المسيرة بالديزل مثلا ؟ •

يستطيع السائق أن يعادل تأثيرات الظروف المحيطة المختلفة على تشغيل المحرك بتغيير كميات الوقود والهواء الداخلين للمحرك ، أى بتغيير تركيب خليط الاشتعال •

فيلاحظ السائق العداد الذى يبين الكفاية ، وبمجرد ان تبدأ قراءة العداد فى الهبوط ، يحاول معادلة هذا الهبوط بتغيير كمية الهواء الداخل للمحرك وذلك بضبط الصمام الخانق الذى يتحكم فيه •

فاذا استمرت الكفاية فى الانخفاض يحاول زيادتها بتحريك الصمام الخانق فى الاتجاه المضاد حتى تبدأ فى الزيادة ، ولكن الى أى حد يستمر فى ادارة الصمام ؟ • واضح انه يستمر فى ذلك حتى تصل الكفاية الى نهايتها العظمى ثم تبدأ فى الهبوط ثانية • وهذا يعنى انه قد يتجاوز القيمة العظمى للكفاية فيعود الى ادارة الصمام الخانق فى الاتجاه المضاد قليلا ليضبطه على أحسن وضع ، وتتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يتأكد السائق من انه قد ضبط المحرك على أقصى كفاية •

وبين حين وآخر يعيد السائق بحثه عن أحسن كفاية نظرا لأن قيمتها تتغير بمضى الوقت ، ويتطلب هذا البحث دراية وخبرة •

ولكن حتى مع وجود الدراية والخبرة ، فان عملية الضبط اليدوية بطيئة جدا • وفى العمليات المعقدة أو السريعة لا يستطيع العامل ان يقوم بعملية الضبط بطريقة مرضية مهما كانت خبرته •

اذن ، هل يمكن ان نعهد بهذه العمليات الى آلة ؟ بالطبع ، بل انه قد صمم بالفعل جهاز تحكم جديد يحتوى على آلية تستجيب للاتجاه ، أو للاحساس بالتغير فى أية قيمة • وفى الحقيقة كان يطلق على أحد

الأجهزة التى تتتبع التغير فى الكفاية فى أول جهاز تحكم باحث اسم « مرحل الاحساس » ٠

وليس من الضرورى أن يعثر جهاز التحكم الباحث على أكبر قيمة للدالة المراد التحكم فيها ، بل يراد أحيانا أن يعثر على أقل قيمة مثل أقل استهلاك للوقود لسرعة معينة مثلا ٠ ويسمى العلماء البحث عن أنسب قيمة سواء كانت الصغرى أم العظمى « بالبحث الأقصى » كما تسمى أجهزة التحكم من هذا النوع « أجهزة التحكم الأقصى » ٠

وكما كانت « السلحفاة » تبحث عن الضوء و « الفأر » عن أقصر طريق ، تبحث أجهزة التحكم الأقصى عن أنسب قيمة للدالة المراد التحكم فيها ، ويمكن استخدامها للاحتفاظ بمعدل استهلاك الوقود الذى يجعل مرجلا بخاريا يعمل فى أحسن الظروف اقتصادا ، أو للعثور على أنسب سرعة لطيران طائرة ، أو لتحديد الظروف المثلى لعملية كيميائية أو لضبط حفارات البترول للحصول على أعلى كفاية فى الحفر ولكثير من الأغراض الأخرى ٠

وتعتبر أجهزة التحكم الأقصى واحدة من أكثر الاتجاهات تقدمية فى التطور الصناعى الفنى ٠ وهى – مثلها فى ذلك مثل باقى أجهزة الضبط الذاتى والأجهزة « القابلة للتدريب » والأجهزة القادرة على الاختيار – من أولى نتائج التطبيق العملى لأساسيات السيبرنيات ، وهى تقلد الى حد ما وظائف العقل البشرى من حيث مقدرتها على الاختيار ٠ ولكن حتى المكنات المزودة بأكثر الأجهزة اتقانا لا تستطيع بأى حال ان تفكر تفكيرا خلاقا جدليا ٠ ومهما وصلت الى الكمال فانها ما زالت مكنات صنعها الانسان ٠

★ ★ ★

منذ زمن طويل ، دأب الانسان على استخدام مصادر اصطناعية للقدرة التى تزيد كثيرا على قدرة عضلاته ٠ وقد يسيطر الآن على قوى جبارة ، بينما لا تستطيع عضلاته ان تؤدى عملا يتطلب قدرة أكبر من عشر الحصان ٠

والسؤال الآن : هل يمكن صنع مكنات لها قدرة « ذهنية » تزيد على قدرة المخ البشرى بنفس الدرجة ؟ آلات يمكنها أن تحل مسائل تفوق الذكاء الآدمى ؟ ٠

ان الحاجة لهذه المكنات قائمة بالتأكيد ، لأن المقدرات الذهنية للانسان محدودة مثل قوة عضلاته ٠

فاذا توصل الانسان فى احدى مراحل تطوره الى كيفية الحصول على قدرة اضافية بالاستعانة بالمكنات التى يمكن ان ننظر اليها كمكبرات « قدرة » ألا يستطيع اذن فى مرحلة أخرى من مراحل تقدمه أن يحمل على عاتقه مهمة صنع « مكبرات للمقدرة الذهنية » ؟ ويكون الغرض من مثل هذا المكبر زيادة المقدرة الآدمية على التفكير زيادة كبيرة ؟ ٠

قد يعترض البعض بأن مقدرة المكنة فى هذه الحالة يجب ان تزيد على مقدرة مصممها ، ولكن مهندسى العصور الوسطى كانوا يرون أنه لا يمكن لمكنة يسيرها الانسان أن تؤدى عملا أكثر مما يدخله اليها العامل، أو بمعنى آخر لا يمكن لمكنة أن تكبر المقدرة الآدمية ٠ وقد كانوا على حق ، اذ أنهم لم يعرفوا الا أبسط الآليات مثل الروافع والبكر والعجلات المسننة ٠٠٠ الخ التى يمكنها أن تزيد من قوة الانسان ولكنها لا تتجاوز قدرته ٠

ولكن سرعان ما أثبت اخضاع البخار ثم استخدام القدرة الكهربائية بالذات ان مهندسى العصور الوسطى كانوا مخطئين ٠ حقا لا يبذل الانسان شغلا كثيرا عندما يقذف الفحم فى الفرن ، ولكن عندما يحترق الفحم ، تنطلق منه القدرة الكامنة فيه وهى تزيد كثيرا على تلك التى بذلها الوقاد ٠

وكذلك مكنات الحفر المتحركة ومكنات النقل الآلية وباقى المكنات التى صنعها الانسان وسيطر عليها ـ كلها تكبر من قدرة عضلاته عددا ضخما من المرات ٠

وقد تجاوزت الآلات الحاسبة الالكترونية بالفعل مقدرة الانسان فى مجال المجهود الذهنى تجاوزا كبيرا ، وقد ساعدت بالفعل على حل كثير من المسائل كانت تعتبر سابقا غير قابلة للحل بسبب تعقيدها وضخامة العمليات الرياضية اللازمة لها ٠

وكذلك غالبا ما تستجيب أجهزة الطيار الآلى للتغيرات المفاجئة فى ظروف الطيران بأسرع مما يستطيع الطيار الآدمى ٠

وكذلك يمكن ذكر أمثلة أخرى من المكنات المشابهة التى يمكن تحقيقها فى المستقبل ، مثل مكنات الفهرسة أو المراجع التى يمكنها اختزان كميات هائلة من المعلومات فى ذاكرتها ثم انتقاء الفقرات المطلوبة بسرعة لا يستطيعها الانسان ٠

من هذا نرى انه حتى فى عصرنا الحاضر ، تمكن الانسان بالفعل من تصميم عدد من المكنات التى يمكن اعتبارها الى حد ما « مكبرات للمقدرة الذهنية » ٠

الألكترونيات والصناعة والاقتصاد القومى

سنتناول فى هذا الفصل استخدام العلوم الالكترونية فى الصناعة والاقتصاد القومى ٠

يعتبر الصمام الالكترونى أساس المعدات اللاسلكية والالكترونية المستخدمة فى الصناعة ٠ كما تستخدم كثير من الأجهزة أيضا الخلايا الضوئية الكهربائية وأنابيب أشعة الكاثود ٠ وتحتوى جميع تلك الأجهزة على نفس الأجزاء والمكونات وحتى المجموعات الكاملة التى درسناهـا عندما تناولنا أجهزة الارسال والاستقبال اللاسلكية ٠

وسنحاول ــ بذكر بعض الأمثلة ــ بيــان كيف أدى اســتخدام الصمامات الالكترونية وتقنيات اللاسلكى وأجهزته الى ثورة فنية فى كثير من فروع الصناعة ٠

حلم يتحقق

منذ أجيال كثيرة ، كان الانسان يحلم بأداة معدنية تكون فى غاية الصــلادة ، كمــا تكون فى نفس الوقت قادرة على تحمل الصــــدمات والضربات ٠ ولم تكن صناعة مثل هذه الأداة بالأمر الهين ٠

وقد وجد فى كثير من الحالات ، أنه على الرغم من امكان صناعة منتجات صلدة جدا من الصلب ، الا أنها كانت قصيفة ، سرعان ما تتشقق تحت تأثير الضربات التى لا يخلو منها أى عمل ٠ فاذا لم تصنع الأداة صلدة فانها تتحمل الضربات جيدا ولكنها تكون لينة بدرجة لا تصلح معها لتكون أداة قطع ٠

وعلى الرغم من جميع المحاولات التى بذلت خلال الألف عام الماضية ، لم يمكن حتى وقت قريب صناعة أداة تجمع بين الصلادة الشديدة والقابلية لتحمل الطرق ٠

اذ أنه اذا أريد الحصول على خواص قطع جيدة لأداة قطع مثلا ، يجب أن يكون حدها القاطع صلدا ، أو بعبارة أخرى ، يجب أن يكون سطحها صلدا ٠ ولكن اذا عوملت الأداة بالطرق المعتادة لتصبح صلدة ، فانها تسخن كلها وتصبح جميعها صلدة ، وبالتالى قصيفة ٠ ويمكن حل هذه المشكلة اذا وجدت طريقة لتسخين طبقة رفيعة من سطح المعدن بحيث يظل داخله باردا ، فبهذا يمكن أن تكون هذه الطبقة الرقيقة فقط صلدة ، ويظل داخل الأداة لينا بشكل يسمح لها أن تتحمل الصدمات والضربات ٠ وفى الأفران المعتادة ، تستمر عملية التسخين مدة طويلة ٠ ونتيجة لهذا تنتقل الحرارة من السطح الى الداخل وتسخن الأداة بأكملها بشكل منتظم تقريبا ٠ ولكن ها قد تحقق هذا الحلم أخيرا بفضل الصمامات الالكترونية القوية ٠

وكما نعرف جميعا ، اذا مر تيار كهربائى فى معدن ترتفع درجة حرارته ، فاذا سخن المعدن باستخدام تيار مستمر أو تيار منبع الاضاءة المتردد قدره ٥٠ سايكل فى الثانية فان الموصل يسخن بأكمله بانتظام ٠ ولكن اذا استخدم تيار متردد بتردد عال فان الصورة تتغير تماما ٠ اذ لا يستطيع مثل هذا التيار أن يخترق المعدن الى عمق كبير بل يسرى فى طبقة رفيعة من السطح فقط ، وكلما زاد التردد قل سمك هذه الطبقة ٠ وتسمى هذه الظاهرة بالظاهرة السطحية ، وعادة ما تكون هذه الطبقة السطحية التى تسرى فيها التيارات ذات التردد العالى رفيعة حتى أنه اذا استخدم مولد قوى ارتفعت درجة حرارة سطح المعدن الى درجة البياض قبل أن تجد الحرارة الوقت الكافى للتغلغل الى عمق معقول ٠

واذا ما أخذنا قطعة معدنية ابيض سطحها بالحرارة بينما داخلها بارد وغمسناها فى ماء أو زيت ، فان سطحها يصبح صلدا بينما يظل داخلها لينا ٠ وتصبح الطبقة الخارجية الصلدة شديدة المقاومة للبلى ، بينما تقوم الطبقة الداخلية اللينة التى تتحمل الطرق بدور المحافظة على المعدن من الكسر ٠

وطريقة التصليد بالتردد العالى طريقة جديدة نسبيا ، ويرجع الفضل فى تطوير هذا الفرع من فروع الهندسة اللاسلكية الى العلماء الروس مثل ف ٠ ب ٠ فولوجدين ، و ج ٠ ى ٠ باباتا و م ٠ ج ٠ لوزينسكى ٠

ويلاحظ ان ف · ب · فولوجدين من رواد الهندسة اللاسلكية · وقد صمم مولدا للتردد العالى استخدم لزمن طويل كمنبع تغذية رئيسى لمحطات الراديو القوية · وبالاضـــافة الى أعماله الكثيرة فى الهندسة اللاسلكية واستخداماتها الصناعية ، عمل ف · ب · فولوجدين بنجاح فى فروع الهندسة الكهربائية المرتبطة بها ، وعلى وجه الخصوص تطوير المقومات المقومات الزئبقية التى تتزايد أهميتها يوما بعد يوم · وتقديرا لأعماله الكبيرة واختراعاته فى مجال الهندسة اللاسلكية ، فقد منحه رئيس أكاديمية العلوم فى الاتحـاد السوفيتى ميدالية بوبوف الذهبية عـام ١٩٤٨ ·

وقد انتشر استخدام التصليد بالتردد العالى فى الوقت الحاضر فى جميع فروع صناعات تشغيل المعادن وتصميم المكنات · ويستغرق تصليد الأجزاء مثل التروس والأعمدة المرفقية للمحركات ثوان قليلة ، وتتم العملية بأكملها عادة أوتوماتيكيا ، الأمر الذى يمنع أى فقد ويضـمن الانتظام التام للأجزاء ·

ولا تستخدم مولدات التردد العالى فى التصليد فقط بل أيضا فى صهر المعادن باستخدام التيار الكهربائى ذى التردد العالى · ففى أثناء الحرب العالمية الأولى ، كان بابالكسى يعمل فى تصميم وتطوير صمامات الراديو ذات القدرة العالية ، وكانت الصعوبة الرئيسية التى تواجهه هى ازالة الغاز من الأجزاء المعدنية المستخدمة داخل الصمامات ، وفى ذلك الوقت كانت جميع الصمامات ذات القدرة العالية تعمل بطريقة الازالة المستمرة للغـاز ، فكان الصمام يوصل بمضخة خاصة تفرغ غلافه من الغازات المنبعثة من المعدن بصفة مستمرة ·

فاذا أريد للصمام ان يعمل بدون هذا التفريغ المستمر ، يجب ازالة الغاز تماما من أجزائه المعدنية قبـل فصله عن المضخة بحيث لا يتبقى منه ما قد ينبعث بعد ذلك أثناء التشغيل · وأحسن طريقة لذلك هى تسخين الصمام فى فراغ مع امتصاص الغاز المتصاعد بصفة مستمرة · ولكن التسخين المعتاد فى فرن لا يساعد كثيرا فى هـــذه الحالة ، لأن درجة الحرارة التى يمكن استخدامها محدودة بدرجة انصهار الزجاج ، كما وأن هذا الزجاج بدوره يعوق انتقال الحرارة الى الأجزاء المعدنية داخل غلاف الصمام نظرا لانخفاض موصليته وموصلية الفراغ داخله للحرارة ·

وقد كانت فـكرة بابا لكسى عبقرية وغير معتـادة بالنسبة لذلك الوقت ، فقد اقترح استخدام تيار عالى التردد بدلا من الفرن الذى كان

مستخدما للتسخين • ونحن نعرف الآن ان التيار عالى التردد يسخن أسطح المعادن ، ولكن ذلك كان يعد ثورة تقنية منذ ثلث قرن •

وهكذا مكنت طريقة بابالكسى من ازالة الغاز من الصمامات بشكل فعال ، كما مكنت من انتاج صمامات لا تحتاج للتفريغ أثناء التشغيل •

وقد عرفت الصمامات التى انتجت بهذه الطريقة باسم صمامات بابالكسى • وكانت عولها عاليا كما فاقت كل ما كان متوقعا لها •

وبزيادة خرج مولد التردد العالى الذى كان مستخدما فى التسخين ، تمكن بابالكسى من صهر معدن فى الفراغ ، وما زالت فى مكتبته حتى الآن أول قطعة من الحديد صهرت فى الفراغ باستخدام التيار عالى التردد •

وهذه الطريقة للصهر ذات أهمية خاصة فى انتاج السبائك ذات الجودة العالية حيث يجب ألا يلامس المعدن لهب أو غاز •

وباستخدام مولد للتردد العالى جيد التصميم قدرته ١٠٠ كيلو وات يمكن صهر ١٠٠ كيلو جراما من المعدن فيما لا يزيد على ١٥ دقيقة •

وتستخدم أفران الصهر بالتردد العالى فى الوقت الحاضر بكثرة لا فى انتاج سبائك الحرارة العالية والصلب عالى الجودة فحسب بل أيضا فى انتاج سبائك مغناطيسية خاصة وسبائك خفيفة •

فاذا استخدمت قوالب صب معدنية (لا رملية كالمعتاد) نجد ان المسبك الحديث المزود بأفران التردد العالى لا يشبه المسبك المعتاد الا قليلا • وفيه أيضا يقل مجهود الانسان وتصبح ظروف عمله أكثر صحية باستخدام تقنيات التردد العالى • وبهذا تزيد الانتاجية ويتحسن الانتاج•

تسخين بلا نار

لا يستخدم التسخين بالتردد العالى فى الصناعات المعدنية وصناعة المكنات فقط ، بل أيضا فى كثير من المجالات الأخرى ، فقد قام الصمام الالكترونى بثورة تكنولوجية فى معظم فروع الصناعة التى يعتبر فيها التسخين مشكلة هامة وصعبة •

وأول مثال سنذكره هو انتاج الخزف ، فقد صنع الانسان الأوعية الفخارية منذ ما قبل التاريخ ، وكانت حرفة صانع الأوعية الفخارية تعتبر دائما حرفة صعبة كما كانت موضع الاجلال والاحترام •

ولكن ما هو الصعب فى عمل صانع الأوعية الفخارية ؟ تشـــكل الأوعية سواء منها الفخارية أو الخزفية وكذلك باقى المنتجات الخزفية من عجينة . وليس هذا بالأمر الصعب ، ولكن الأمر الصعب هو ما بعــد ذلك ، اذ يجب أن يجفف المنتج ويحرق ، أى يسخن الى درجة حرارة عالية ، ويكتسب الصلادة والقوة المطلوبين بعد أن يبرد · ومنذ قديم الزمن ، كان التجفيف يتم باستخدام حرارة الشمس · وكثيرا ما كانت تستخدم أفران خاصة تعمل بالهـواء الساخن · ويستغرق مثل هــذا التجفيف وقتا طويلا لأن المنتج يسخن ويجف عنــد السطح أولا بينما تتسرب الرطوبة الداخلية ببطء شديد ، ولهذا تجف الأجزاء الرفيعة قبل السميكة ، فيلتوى المنتج أو يتشقق نتيجة لعدم انتظام التجفيف بحث يصبح غير صالح للاستعمال · ولتجنب هذا تبطأ عملية الجفيف حتى تكون أكثر انتظاما · فمثلا تجفف الأوعية الخزفية الكبيرة فى عدة أشهر ، بينما يستغرق تجفيف العوازل الكبيرة المستخدمة فى خطوط نقل القدرة الكهربائية بجهد عال بهذه الطريقة عدة أسابيع ، وهكذا يكون الفقد كبيرا علاوة على ارتفاع تكاليف الانتاج والاستهلاك الكبير للوقود ·

وقد مكن استخدام الصمامات الالكترونية من ايجاد تكنولوجيا جديدة تماما لتجفيف الخزف · وقد أزالت هذه الطريقة الفقد وخفضت تكاليف الانتاج ، ومكنت من اجراء هذه العملية أوتوماتيكيا ·

وفى هذه الطريقة الجديدة ، تستخدم مولدات قوية للتردد العالى ، ولا تسخن المنتجات الخزفية فى هــذه الحالة فى المجال المغناطيسى لملف المولد ، ولكن فى المجال الكهربائى للمكثف ·

تتذبذب الايونات والذرات والجزيئـــات المكونة للمـادة مع المجال الكهربائى المتردد فترفع هذه الذبذبات القسرية درجة حرارة المادة · ونحن نعرف الآن ان المجال الكهربائى عالى التردد لا يستطيع اختراق المعادن ، ولكنه يستطيع اختراق العوازل بسهولة · ونتيجة لهذا يسخن العازل الموضوع فى مجال كهربائى عالى التردد من جميع أجزائه بانتظام ·

ولتسهيل ادخال المنتج الكهربائى للمكثف ، يصنع المكثف قريبا فى الشكل من مسند الكتب المعدنى ، وعندما يعمل المولد يتركز معظم المجال الكهربائى عالى التردد بين لوحى هذا المكثف · ويرفع المجال الكهربائى درجة حرارة الغالبية العظمى من المواد ارتفاعا كبيرا ·

والى جانب التسخين الذى يحدث فى الخزفيات الجافة ، تتولد حرارة اضافية فى الخزفيات الرطبة نتيجة لعدد من الأسباب الأخرى ، وتكون غالبية هذه الحرارة الاضافية نتيجة لتعرض جزيئات الماء الموجودة فى العجينة للذبذبات التى ذكرناها من قبل ، فتتولد فى الماء كمية من الحرارة

أكبر من تلك التى تتولد فى الخزف نفسه · وهذا يسخن الماء الموجود فى مسام الخزف بسرعة فيتصاعد على شكل بخار ·

وبهذه الطريقة يتم تسخين المنتجات الخزفيـــة الى أن تجف بسرعة وبانتظام يمنع تشوهها · وتوضع القطع المراد تجفيفها على ألواح معدنية تنزلق بين ألواح المكثف المتصلة بمولد التردد العالى · وعند تشـــغيل المولد تسخن القطع بسرعة كبيرة وتمتص كمية كبيرة من الطاقة ، وعندما يتبخر الماء الموجود فيها تكف القطع عن امتصاص ذلك الجزء من الطاقة التى كانت تمتصه جزيئات الماء من المجال مباشرة فى المرحلة الأولى من مراحل التجفيف ·

وفى نهاية عملية التجفيف لا تمتص الطاقة من المجال سوى ايونات الخزف · وتكون قيمة هذه الطاقة أقل بكثير من تلك التى كانت تمتص فى بداية التجفيف · ويكون هذا اشارة الى أن التجفيف قد تم ويمكن ايقاف المولد · ويتم هذا عادة أوتوماتيكيا باشارة من جهاز القياس الذى يقيس القدرة المستهلكة فى المكثف ·

ولا يقتصر التسخين بالتردد العالى على انتاج الخزفيات ، اذ يستخدم التيار عالى التردد فى تجفيف الشاى والطباق تجفيفا جيدا ويحســـن خواصهما بالمقارنة بالطرق المعتادة للتجفيف · كما يستخدم أيضا فى تجفيف الأذرة والبطاطس والقمح والقش ، وكذلك يستخدم التيار عالى التردد فى اذابة الدهون من المنتجات الجانبية فى اسطبلات الماشية وفى حفظ المأكولات وفى معالجة فيالج الحرير وانضاج الخبز وحتى فى طبخ الطعـــام ·

ويستخدم التسخين بالتيار عالى التردد أيضا فى صناعة البلاستيك والمطاط ، وفى جميع هذه الحالات ، يمكن ميكنة الانتاج ميكنة تامة نتيجة لذلك ·

وبهذا يزيد الانتاج زيادة كبيرة وتتحسن ظروف العمـــل ونوع المنتجات وينخفض استهلاك الوقود ·

ولهذه الطريقة فى التسخين أهمية خاصة فى صناعة الأخشـــاب ، فمن المعروف انه لا يمكن استخدام الخشب الا اذا كان جافا ، اذ سرعان ما تتقلص المنتجات المصنوعة من الخشب الرطب وتتشـــقق وتتلف · وتستغرق عملية تجفيف الخشب الآن وقتا أطول مما تستغرقه عمليـــة تجفيف الخزفيات · فنظرا لأنه لا يمكن تسخين الخشب الى درجات عالية من الحرارة ، فان عمودا من البلوط مساحة مقطعة عشرة سنتيمترات مربعة يستغرق حوالى ١٠٠ يوم ليجف باستخدام الهواء الساخن · وحتى مع

هذا لا يكون التجفيف منتظما ، وكثيرا ما تتشقق الأعمدة · لهذا السبب يجفف الخشب ذو الجودة العالية مثل ذلك الذى يســتخدم فى الآلات الموسيقية فى درجة حرارة الغرفة لفترات تصل الى عدة سنين ·

ولكن اذا وضعت نفس أعمدة البلوط فى مجال كهربائى عالى التردد فانها تجف فى ساعات قليلة دون أى تلف · وتجف الأنواع الأقل سمكا فى دقائق ، وبدون أى تأثير على جودة الخشب ·

ويستخدم تجفيف الخشب بالتيار عالى التردد فى مصانع الطائرات بكثرة ، وانه لمنظر جميل حقا أن ترى الألواح الســميكة الرطبة تتغطى بسحب من البخار النــاتج عن الماء الذى فيها بمجرد تشغيل الصــمام الالكترونى ، وبعد دقائق تخرج الألواح جافة تماما تفوح منهــا رائحة الراتنج لتستخدم فى صناعة أدق أجزاء الطائرات ·

ويستخدم التسخين بالتردد العالى فى الطب أيضا ، اذ يتكون الجسم الآدمى من مجموعة هائلة من الجزيئات ، فاذا تعرضت هذه الجزيئات لمجال كهربائى عالى التردد بالشدة اللازمة فانها تتذبذب فترتفع درجة حرارة أنسجة الجسم ، ولا ترتفع درجة حرارة الأنسجة الخارجية فقط بل أيضا الأجزاء الداخلية من الجسم فى نفس الوقت · وهذا له فائدة خاصة فى علاج التهابات الأعضاء الداخلية عندما تفشــل قارورة الماء الســاخن المعتادة ·

العيون والأيدى الكهربائية

تعتبر عملية اختبار أبعاد المنتجات وجودتها ، من أهم المراحل وأشقها فى دورة الانتاج بالجملة فى عصرنا الحديث · وفى بعض الحالات تستغرق عمليات القياس زمنا يصل الى نصف زمن تصنيع المنتج وتشغيله ·

كما وأن هناك صعوبات أخرى قد تكون أكثر خطورة ، مثل اختبار ما اذا كانت عملية تصليد عمود ادارة معين قد تمت بطريقة صحيحة ، فعادة ، اذا أريد اختبار مجموعة من أعمدة الادارة ، ينتقى عدد منها ويكسر فى مكنة اختبار خاصــة · فاذا كانت القوة اللازمة للكسر فى حــدود معينة يعتبر العمود جيدا ، ولكن هذا العمــود قد كسر الآن ولا يصلح للاستعمال ، لذا يفترض أن جودة باقى الأعمدة قريبة من جودة ذلك الذى اختبر · ولزيادة الاطمئنان على الانتاج ، تختبر نسبة معينة من كل مجموعة (أى تكسر) وتسمى هذه الطريقة طريقة الاختبار الاحصائى المتلف ·

ولا شك فى أن هذه الطريقة تعطى شيئا من التأكيد بأن باقى الأعمدة بالجودة المطلوبة ، ولكن هذا التأكيد لا يمكن أن يكون تاما ، كما أن لهذه الطريقة عيبـا آخر وهو انه كلما أردنا أن نرفع من درجـة التأكد لزم اتلاف عدد أكبر من العينات ٠ والطريقة المثالية بالطبع هى أن نختبر كل قطعة ونتركها صالحة للاستعمال ٠ ويمكن أن يتم هذا فى كثير من الحالات باستخدام الصمامات الالكترونية ٠

فعند اختبار صلادة الأعمدة تستخدم تلك الخاصية التى مؤداها أن جودة العمود المصلد تعتمد على سمك الطبقة المصلدة وتجانسها ٠ ويمتص الصلب المصلد طاقة من المجال المغناطيسى المتردد أكبر بكثير مما يمتصها الصلب غير المصلد ٠ وبقياس الطاقة التى تمتص من مجال مغناطيسى لملف بوساطة دائرة تستخدم صماما الكترونيا ، يمكن تحديد سمك الطبقة المصلدة بسرعة ودقة ، وبالتالى يمكن معرفة مدى جودة التصليد ٠ وفى هذه الحالة يستخدم مجال متردد بتردد صوتى لأنه أقدر على التغلغل الى عمق كبير داخل المعدن ٠ وتستخدم هذه الطريقة للاختبار أيضا فى صناعة الأحذية لفرز القطع الحديدية التى تثبت فى النعال حسب درجة صلادتها ، وكذلك لاختبـار صـلادة أشرطة الصـلب المستخدمة فى مكنات ندف القطن ٠

ولنذكر مثالا آخر ، يجب عند دلفنة الأشرطة المعدنية مراقبة سمك الشريط بصفة مستمرة وضبط المسـافة بين الدلافين كلما لزم الأمر ، وبالطبع ليس من المناسب قياس شريط متحرك بالوسائل المعتـادة ٠ أما ايقاف مكنة الدلفنة لاجراء القياس فأمر مستبعد ٠

ولكن الصمام الالكترونى يمكن من حل المشكلة الصعبة ببسـاطة وبشكل يمكن الاعتماد عليه ٠ ويتكون أبسط الأجهزة التى يمكن أن تقوم بهذا العمل من مذبذب منخفض القدرة يولد ذبذبة ترددها ثابت بوساطة بللورة (*) وجهاز استقبال ٠ ويتكون مكثف دائرة الرنين فى جهـاز الاستقبال هذا من لوحين بينهما حيز هوائى ٠ ويثبت هذا المكثف فى مكنة الدلفنة ، بحيث يمر الشريط المراد دلفنته فى الثغرة الموجودة بين اللوحين بدون أن يلمس أيهما ٠ فعندما يتغير سمك الشريط تتغير سعة المكثف فتتغير موالفة جهاز الاستقبال ٠ وبتغير موالفة جهاز الاسـتقبال تتغير شدة الاشارة المستقبلة من المذبذب المعلى ٠ ويوصل خرج جهـاز الاستقبال بالجهاز الذى يتحكم فى الدلافين ٠ وبهذا يتغير وضع الدلافين اذا تغير سمك الشريط بحيث يظل ثابتا فى الحدود المطلوبة ٠

(*) لمعرفة المزيد عن التحكم فى الذبذبات بوساطة بللورة ــ انظر الفصل الثانى ٠

وتستخدم نفس الطريقة فى التحكم فى سمك الأشرطة المطاطية ، وسمك أشرطة الورق ودرجة الرطوبة بهـــا وفى كثير من الحالات الأخرى المشابهة ٠

وباستخدام الصمامات الالكترونية مع الخلايا الضوئية يمكن توسيع مجال استخدام هذه الأدوات فى أغراض التحكم الآلى ٠

فمثلا يزيد الفقد فى الوقود زيادة كبيرة اذا كان احتراقه فى الأفران الكبيرة غير تام كما يتلوث الجو بغازات ضارة ٠ ويمكن التحكم فى الاشتعال باستخدام خلية ضوئية ، فتوضع خلية ضوئية ومصباح كهربائى بحيث يمر ضوء المصباح فى الغاز العادم قبل أن يصل الى الخلية الضوئية ٠ وبعد تكبير هذا التغير فى تيار الخلية بالوسائل الالكترونية تكبيرا مناسبا يمكن استخدام الاشارة الناتجة للتحكم فى تيار الهواء ٠

وتستخدم نفس الطريقة للتحكم فى نقاء الماء فى محطات تنقية الماء الكبيرة اذ تكتشف أقل عكارة فى الماء فورا باستخدام الخلايا الضوئية وترسل اشارة الى لوحة التحكم ٠ ويعمل كثير من أجهزة قياس العكارة (أجهزة قياس درجة شفافية المحاليل والغازات) بهذه الطريقة ٠

وتعتبر الأجهزة التى يمكنها قياس أشعة الضوء باستخدام الخــلايا الضوئية من الأجهزة ذات القيمة العظيمة فى اختبار دقة أجزاء المكنات ٠ اذ بتغير أبعاد أجزاء المكنة عن القيمة المسموح بها تتغير أبعاد الثغرة المتكونة بينها ٠ وبتغير أبعاد هذه الثغرة تتغير كمية الضوء المارة خلالها فيستجيب جهاز الخلية الضوئية لهذا التغير ويرسل اشارة تدل على حدوث خطأ أو تلف ٠ وبمساعدة آلية التشغيل ، يمكن لهذه الأجهزة أن تفرز الأجزاء أوتوماتيكيا أو أن توافق بين الأجزاء التى تعمل معا مثل الاسطوانات مع الكباسات أو الأعمدة مع المحامل ٠ وهناك جهاز يستعمل الخلية الضــوئية يسمى «جهاز قياس السطوع» يقيس درجة سطوع الغراء ، وهو فى الواقع يقيس درجة سطوع الضوء المنعكس من الغراء ٠

وهنا قد يسأل سائل : هل يمكن استخدام الخلية الضوئية فى تحديد لون منتج ما ؟ نعم ٠ ولكن يجب وضع قطعة ملونة من الزجاج (مرشح ضوئى) بين المنتج والخلية الضوئية ٠ ويمكن باستخدام جهاز قياس شدة اللون ذى الخلية الضوئية تحديد تركيب الغازات والســوائل عن طريق الضوء الذى تمتصه ٠

وكما هو معروف ، يتغير لون الأجسام المسخنة بتغير درجة حرارتها ٠ وكثيرا ما يقال « ساخن لدرجة الاحمرار » أو « ساخن لدرجة البياض » ٠

وباستغلال مقدرة الخلية الضوئية على الاستجابة للألوان ، أمكن تصميم بيرومتر سطوع ، وهو جهاز الكترونى يقيس درجات الحرارة • ويقيس البيرومتر ذو الخلية الضوئية ــ كما يدعى هذا الجهاز ــ درجات الحرارة العالية عن طريق لون أو سطوع الجسم المسخن •

ويستخدم أنبوب أشعة الكاثود الذى عرفنا استخداماته فى التليفزيون والرادار فى كثير من الأجهزة الأخرى ، ومن هذه الأجهزة جهاز يعرفه الأطباء جيدا • ها نحن الآن فى غرفة عمليات يسودها الصمت العميق اذ تجرى فيها احدى عمليات القلب المعقدة ، وينصت الجراح بانتباه لضربات قلب المريض ، ولكن هناك « اذنا » أكثر حساسية هى ذلك الجهاز الالكترونى الذى يتتبع على شاشته التيارات الكهربائية المتولدة أثناء خفق القلب • وحيث يلزم قياس الزمن بكسور الثوانى لا يمكن الاستغناء عن هذا الجهاز ، وبوساطته تمكن رؤية أى تغير فى نشاط القلب ــ ويظهر هذا على شكل تغير فى شكل الرسم الظاهر على شاشة الأنبوب ــ قبل أن يصبح خطرا على المريض • وباستخدام هذا الجهاز فى التشخيص أيضا ، يتمكن الطبيب من تشخيص مرض القلب فى دقيقة ، اذ لا يستطيع هذا الجهاز تسجيل الظواهر الكهربائية التى تصاحب عمل القلب فحسب ، بل أيضا الظواهر الكهربائية المصاحبة لعمل باقى الأعضاء • وباستخدام هذا الجهاز تمكن مراقبة المنحنيات الخاصة بكمية الأكسجين فى الدم وضغط الدم وباقى البيانات الأخرى • وكذلك صمم للأغراض الطبية أجهزة رسام المخ الكهربائى (وهى أجهزة لدراسة التيارات الحيوية المتولدة فى المخ) ، وأجهزة لدراسة قابلية الأعصاب والعضلات للاثارة بالكهرباء وأجهزة لقياس معدلات الاستجابة للمؤثرات المختلفة ••• الخ • وكان من آخر ما تم فى هذا المجال تصميم جهاز يرسم على شاشة أنبوب أشعة المهبط تمثيلا مجسما للعمليات الكهربائية للقلب وقد سمى هذا الجهاز رسام القلب المجسم • وهو يساعد الأطباء على تقييم الظواهر التى تطرأ على القلب تقييما أدق •

كيف يمكن النظر الى ما يدور داخل آلة أو محرك حيث لا تستطيع اليد الآدمية أو العين أن تصل ؟ فمثلا كيف يمكن مراقبة تآكل الأجزاء المحتكة بعضها ببعض فى محرك طائرة ؟ كيف يمكن تحديد أى من جزئين متناظرين من أجزاء محرك مصنوعين من سبيكتين مختلفتين أكثر مقاومة للتآكل ؟ كان هذا يتم قديما بالمقارنة وذلك باختيار محرك لزمن معين ، باستخدام الجزء الأول أولا ، ثم باستخدام الجزء الثانى • ولكن لما كان محرك الطائرة يستهلك حوالى ٣٠٠ كيلوجراما من الوقود فى الساعة ، فاننا نفهم بسهولة لماذا يعتبر مثل هذا الاختبار غير اقتصادى بالمرة •

ولكن حل هذه المشاكل باستخدام الأجهزة الحديثة ذات الصمامات الالكترونية والنظائر المشعة • ويتم هذا بالطريقة التالية : يثقب الجزء المراد اختباره ثقبا صغيرا ويملأ بمادة مشعة ، وعندما يعمل المحرك يبلى ذلك الجزء بما فيه من تلك المادة المشعة ، ويحمل زيت التشحيم دقائق من هذه المادة الى حيث يكتشف بوساطة عداد خاص • وترسل النبضات الكهربائية من هذا العداد الى جهاز عد الكترونى يبين معدل بلى الجزء • وتستخدم طريقة مشابهة فى تحديد الجودة النسبية للمواد المستخدمة فى صناعة أجزاء متناظرة • ويكفى هنا اختبار هذه الأجزاء لزمن قصير جدا ، ثم يرى فى أى الحالات كانت دقائق المادة المشعة فى الزيت أكثر • كما يمكن أيضا استخدام هذا الجهاز للانذار من تآكل الأجزاء الهامة من المكنات مثل أجزاء معينة من تربين ، فاذا ظهرت دقائق مشعة فى الزيت ، يرسل الجهاز اشارة بضرورة اجراء اصلاحات عاجلة •

وتسمح الصمامات الالكترونية بالتعاون مع النظائر المشعة للانسان بالتغلغل فى أحد الميادين المختفية الأخرى ، ونقصد بذلك النظر داخل النباتات وتتبع التفاعلات الكيميائية الحيوية التى تتم فى مراحل نمو النبات المختلفة • ويتم هذا باضافة مواد مشعة الى السماد الذى يغذى به النبات فيمتصها • وباستخدام جهاز حساس للاشعاع الذرى يمكن الآن بسهولة اكتشاف الأماكن التى اختزنت فيها المادة الكيميائية التى أعطيت للنبات وكميتها •

وقد مهد استخدام مثل هذه الأجهزة الطريق لوسائل أخرى لمكافحة الآفات الزراعية اذ لو احتوت المبيدات الحشرية التى ترش على النباتات على أحد النظائر المشعة لأمكن معرفة الجرعة اللازمة بالضبط لابادة الآفة ابادة تامة • وتستخدم وسائل مشابهة لاكتشاف أماكن اختزان المواد التى يتناولها الانسان والحيوان ، وعند تحليل مفعول الأدوية المختلفة •

وتستخدم مصانع دلفنة الصلب وكذلك مصانع الأسلاك والكابلات أجهزة بلا ملامسات لقياس سمك أشرطة الصلب والأسلاك • وتقيس هذه الأجهزة التى تعتمد على الالكترونيات ، واستخدام النظائر المشعة تيار الاشعاع الذرى الذى يمر فى شريط الصلب ، وتصلح هذه الطريقة لقياس الألواح المعدنية السميكة كما تصلح لقياس أشرطة من الصلب يصل سمكها الى خمسة أجزاء من الألف من المليمتر ، وكذلك للأشكال المختلفة من المعادن •

وكذلك تمكن هذه الطريقة من قياس سمك ألواح زجاج النوافذ أثناء سحبها من الزجاج المنصهر • ولا يحتاج جهاز القياس الى لمس اللوح ،

ولهذا الأمر أهمية خاصة عند قياس السمك فى الأماكن التى يكون اللوح فيها لا يزال ساخنا ولينا ولا يمكن لمسه ٠

وكذلك تستخدم أجهزة مشابهة فى الصناعة الخفيفة لمراقبة انتظام شريط من القطن أو قياس سمك الطبقة العازلة للماء المتكونة على القماش المصنوع من القطن عند صناعة القماش الزيتى ، وفى كثير من الحالات المشابهة ٠

وهاك مثالا لجهاز مشابه يسمى الراديومتر ، ويستخدم فى قياس سرعة الهواء أو الغازات أو الماء أو الوقود فى المنشآت الصناعية ، وكذلك سرعة الدم فى الكائنات الحية ، تضاف فيه كمية صغيرة من احدى النظائر المشعة الى المادة المتحركة وتسير معها ٠ ويوضع جهاز على مسار المادة فى نقطة بعيدة نوعا ما ليبين لحظة مرور النظير المشع ٠ وتسجل هذه اللحظة ولحظة اضافة المادة المشعة على شاشة أنبوب أشعة مهبط على شكل انحراف فى الشعاع الالكترونى ٠ وبملاحظة المسافة بين الانحرافين (النبضتين) على تدريج الأنبوب ، كما فى الرادار يمكن معرفة سرعة المادة المتحركة ٠

ولا تساعد الضمانات الالكترونية على النظر الى المناطق المختفية عن العين فحسب بل أيضا على رؤية الدقائق الصغيرة التى لا ترى بالعين المجردة ٠ وقد عرف منذ زمن طويل ، أن المواد تتكون من جزيئات وذرات ، ولكن لم يتمكن الانسان من رؤية الجزيئات ــ والكبير منها فقط الذى يتكون من آلاف الذرات ــ الا قريبا ٠ وقد تم هذا باستخدام الميكروسكوب الالكترونى ٠ وقد وجد بعد ذلك أن الجزيئات الكبيرة ليست هى النهاية بالنسبة للالكترونات ، اذ تم تصميم جهاز أكثر حساسية وهو جهاز الاسقاط الايونى الذى تمكن بوساطته رؤية الجزيئات الصغيرة أيضا ٠ وتبلغ قدرته على التكبير من مليون الى مليونى مرة ٠ وقد مكن هذا الجهاز الانسان من رؤية تركيب النسق البللورى للمعادن وذرات المواد الكيميائية مثل الاكسجين والباريوم لأول مرة فى التاريخ ٠ وآخر ما وصل اليه العلم فى هذا المجال هو الميكروسكوب البروتونى ٠ ويمكن بوساطته رؤية الأشياء التى لم تكن رؤيتها ممكنة حتى بجهاز الاسقاط الأيونى ، ودراستها ٠

الالكترونيات واللاسلكى فى الطب

غالبا ما يكون تأثير الاشعاع النبضى على الانسان (ونقصد بهذا الاشعاع ذا الكمية والتردد المحدودين) نافعا جدا ٠ فقد اكتشف العلماء أنه إذا تعرض مريض بارتفاع ضغط الدم لمجال منبعث من مولد يشع

طاقة بتردد قدره ٥٠ مليون ذبذبة فى الثانية فى نبضات طولها عشرة أجزاء فقط من مليون من الثانية ، فان مثل هذا الاشـــعاع يخفض ضغط دمه ودرجة حرارته بشكل واضح ويسلمه للنوم ٠

وقد علق الأطباء أخيرا أهمية عظمى على عـــلاج مختلف الأمراض بالنوم ٠ اذ أن للنوم خواص علاجية ، وغالبا ما يكون مثل هذا العلاج مؤثرا جدا ٠ وقد وجد العلماء أن تعريض الجهاز العصبى الآدمى لنبضات ضعيفة شكل موجتها مربع وترددها من ذبذبة واحدة فى الثانية الى أربعين يولد النوم ٠ وليس لهذا النوم المولد اصطناعيا أية آثار جانبية ضارة ٠

كما اكتشف أن النبضات ذات المدة الطويلة والتردد العالى لها تأثير مخدر على الكائن الحى ، فهى تسبب « تخديرا كهربائيا » ٠ وكذلك تثير النبضات ذات الأشكال الأخرى (أسنان المنشار مثلا) العضلات وتجعلها تتقلص ٠ وهذه الظاهرة هى أساس التدريبات الكهربائية للعضلات ٠ وبهذا ساعدت مولدات النبضات اللاسلكية على خلق طريق علاج للانسان جديدة تماما ٠

ويجدر بنا أن نذكر أيضا جهازا الكترونيا جديدا آخر قد يصبح من الأدوات المساعدة التى لا يمكن للطبيب الاستغناء عنها ، ألا وهو مجس لاسلكى صغير لدراسة معدة الانسان وامعائه دراسة مفصـــلة ٠ يبتلع المريض هذا المجس كحبة الدواء فيمر من المرىء الى المعدة ومنها الى الأمعاء مرسلا فى أثناء مروره اشارات تبين قيم الخواص الطبية الهامة مثل الضغط ودرجة الحامضية ٠٠٠ الخ ٠

ويستقبل جهاز لاستقبال الموجة القصيرة ، الاشارات التى يرسلها هذا المرسل غير العادى ٠ وتسجل على شريط راسم الذبذبات الكهربائى ٠ وتساعد المنحنيات المسجلة على هذا الشريط ، الطبيب على تشـــخيص المرض ٠ وهذا المجس اللاسلكى أحد أعاجيب الهندسة حقا ، اذ توضع جميع أجزاء هذا المرسل الترانزستور فى غلاف من البلاســتيك طوله ٢٤ ملليمترا فقط وهذا يعطى فكرة جيدة عن حجم هذه الأجزاء ، ويحتوى الغلاف أيضا على بطارية لتغذية المرسل ٠

وقد فتحت الأبحاث الخاصة باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية ذات « الذاكرة » الهائلة والقادرة على اتخاذ القرارات المنطقية آفاقا واسعة فى التشخيص الطبى ٠

الأوتومية الالكترونية

لا تشترط الأوتومية الالكترونية استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية؛ بل انه فى عدد من الحالات يكون من الأنسب والأرخص استخدام أجهزة الكترونية بسيطة مصممة لتؤدى عمليات محددة · وسنأخذ مثالا على ذلك كاشفات المعادن وماسكات الشذرات المستخدمة فى صناعات المعادن اللاحديدية · يطحن الخام ـ وهو المادة المنتجة للمعدن ـ فى مكنات طحن خاصة وتتسبب قطع المعدن الكبيرة التى قد تكون ضمن الخام فى تلف هذه المكنات · ولوقاية المكنة من الأجزاء المعدنية الكبيرة ابتكر جهاز خاص هو كاشف المعدن الالكترونى · ويتكون الجهاز من مكبر الكترونى تتصل بداخله دائرة موالفة · ويوضع الملف الخارجى للدائرة الموالفة تحت الحزام الناقل الذى يحمل الخام الى مكنة الطحن ، فاذا كانت هناك قطعة من قضيب أو مسمار أو أى شىء معدنى آخر فى الخام يتغير حث الملف بمرورها قريبا منه · وهذا يغير بدوره تردد رنين الدائرة الموالفة ، ويغير بالتالى من شدة الاشارة الداخلة الى المكبر فيشغل المرحل المتصل بخرجه · وهذا المرحل اما أن يوقف الناقل أو أن يقفل دائرة مغناطيس كهربائى قوى يلتقط الجسم المعدنى بعيدا عن الخام · وتعمل ماسكات الشذرات بنفس الطريقة ·

وقد استخدمت الأوتومية الالكترونية على نطاق واسع فى أول محطة أنشئت فى العالم لتوليد القدرة الكهربائية بالذرة وهى فى الاتحاد السوفيتى · وفيها تعمل الصمامات الالكترونية فى مراكز رئيسية فتتحكم فى تشغيل مفاعل اليورانيوم وهو مصدر الطاقة الذرية ، وتراقب شدة فيض النيوترونات وأشعة جاما وباقى الاشعاعات المنبعثة منه ، وتراقب المبادل الحرارى والحيز المحيط بالمفاعل · كما تعطى الأوامر التى تشغل الآليات التى تنظم أماكن قضبان اليورانيوم والضغط والحرارة ومعدل سريان سوائل التبادل الحرارى وسوائل التبريد · كما تشارك الصمامات الالكترونية فى تلك المهمة النبيلة ، ألا وهى المحافظة على صحة العاملين فى المحطة ، فتراقب كمية الاشعاع فى الهواء والماء وحوائط المبنى وأرضيته وتضمن أمان العمل فى المحطة أمانا تاما ·

وقد مكنت الأجهزة الالكترونية من تحقيق احدى أمنيات الانسان الكبيرة ، ألا وهى التحكم من بعيد ، وليس بعيدا ذلك اليوم الذى ستنطلق فيه لأول مرة فى تاريخ البشرية أول محطة فضاء (صاروخ) من الأرض فى أول رحلة الى القمر · وبالطبع سيكون أول صاروخ بلا ملاحين (★) ،

(★) كتب هذا الكلام فى سنة ١٩٥٩ ـ المترجم ·

وسيتم التحكم فيه أوتوماتيكيا باللاسلكى من الأرض ، وعلى الرغم من عدم وجود انسان فى الصاروخ فان الناس على الأرض سيحصلون على جميع المعلومات اللازمة عن حالة الصاروخ مثـــل ظروف الطيران و « مناخ » الطبقات العليا من الجو والفضاء الخارجي وشدة الاشعاع الكونى • وسترسل جميع هذه المعلومات الى الأرض أوتوماتيـــكيا عن طريق أجهزة تـكون الصمامات الالكترونية وأشباه الموصلات من أهم مكوناتها • وتحمل فكرة التحكم من بعيد باستخدام الأجهزة اللاسلكية فى طياتها الأمل فى امكان القيام برحلات طويلة المدى بطائرات لا يقودها انسان تحمل الشحنات ذات الطبيعة العاجلة فى المستقبل القريب ، وكذلك ظهور المركبات ذاتية التوجيه • وقد صنع قريبا جرار موجه باللاسلكى • وتتكون معدات التحكم من بعيد المركبة فيه من محطة لاسلكية صغيرة وجهاز ارسال يعمل ببطارية ويرسل موجة ترددها ١٢ر٢٧ كيلوسايكل فى الثانية • ويستطيع هـذا الجرار أن يغير آلاته من وضع الحمل الى وضع التشغيل وبالعكس ، كمـــا يستطيع أن يدور يمينا ويسارا •

وقد مكنت التليمترية (القياس عن بعد) من انشاء محطات أرصاد جوية فى أماكن نائية ترسل المعلومات منها بأجهزة القياس اللاسلكية • وكذلك يمكن استخدام فكرة القياس عن بعد فى تصميم جهاز يساعد على هبوط الطائرات آليا عندما ينخفض مدى الرؤية الى الصفر • ولا شك فى أن القياس عن بعد باللاسلكى ، وكذلك أجهزة التحكم اللاسلكية ستصبح من الأدوات الهامة فى تشغيل محطات الضـخ الكهربائية ومحطات الرى والتحكم فى توزيع الماء والصرف ، وكذلك التحكم فى محطات القدرة فى المزارع • وقد استخدمت الصمامات الالكترونية بنجاح فى مجالات العلم والهندسة والاقتصاد القومى •

وكما رأينا من الأمثلة السابقة ، تضع تقنيات اللاسلكى امكانيات جبارة فى خدمة الميكنة فى كل فروع الصناعة •

أشباه الموصلات

أصبح الصمام الالكترونى المفرغ الذى ظهر منذ حوالى أربعين سنة فقط ضرورة فى كثير من ميادين العلم والهندسة والصناعة ، ولكنه مازال بعيدا عن الكمال ، فانه قابل للكسر وحساس للاهتزاز والصدمات ، كما يستهلك الكاثود الساخن كمية كبيرة من الطاقة ، كما يحد تصميمه المعقد من صناعته فى أحجام صغيرة • ونتيجة لهذا نجد أن المعدات اللاسلكية تكون عادة كبيرة وتشغل حيزا لا بأس به • وهذا أمر ليس بالهام بالنسبة لأجهزة الراديو والتليفزيون المنزلية ، ولكن هناك أجهزة مثل الآلات الحاسبة الالكترونية مثلا تحتاج لعشرات الآلاف من الصمامات ، وكثير منها يشغل عدة حجرات أو حتى طوابق • أما بالنسبة للأجهزة الالكترونية الموضوعة فى الطائرات والسيارات ، ناهيك بتلك الموضوعة فى سفن الفضاء والأقمار الصناعية ، فانه من أهم الأمور أن يكون حجمها ووزنها واستهلاكها الكهربائى أصغر ما يمكن ، كما يجب أن تكون مقاومتها للاهتزاز أكبر ما يمكن •

وحتى يكون الحجم والوزن صغيرين الى أقصى حد ، فانه يجب البحث عن حلول جديدة تماما •

وهنا نهضت الفيزياء لانقاذ الالكترونيات ، فاقترحت مادة يمكن استخدامها فى صناعة أداة تشبه فى عملها الصمام الالكترونى ، ويشغل « الصمام الثلاثى » المصنوع من هذه المادة فراغا قدره ١٠ر٠ سنتيمترا مكعبا فقط ، فهو أصغر بكثير من صمام ثلاثى له نفس القدرة • وليس لهذه « الصمامات الثلاثية » الجديدة ألواح ولا كاثودات ولا شبكات ولا أى عنصر من العناصر الأخرى التى توجد عادة فى الصمامات المفرغة ، ولكنها تستطيع تقويم الذبذبات الكهربائية وتكبيرها كالصمامات الثنائية والثلاثية المفرغة •

كذلك ليس لهذه الأداة كاثود يحتاج لقدرة اضافية لتسخينه ، ولهذا ينخفض الاستهلاك الكلى للجهاز انخفاضا كبيرا ٠

من أى شيء تصنع هذه « الصمامات » غير العادية ؟ : من المعروف جيدا أن العلم والهندسة قد استخدما على نطاق واسع كلا من المعادن التى تعتبر موصلات جيدة للتيـــار الكهربائى والمواد العـــازلة التى لا توصله ، كما درست خواصها دراسة واضحة ٠ ولكن المعادن والمواد العازلة ما هما الا طرفان فى سلسلة واحدة ، وبينهما مجموعة كبيرة من أشباه الموصلات التى تتوسط فى خواصها المعـــادن والمواد العازلة ، وتشتمل أشباه الموصلات على معظم أكاسيد وكبريتات المعـــادن ومركبات معـــدنية أخرى والجرافيت والسيلينيوم والجرمانيـــوم والسـيليكون والتلوريوم وعناصر أخرى ٠

وعلى الرغم من أن نسـبة لا بأس بها من العناصر المعدنية تدخل ضمن أشباه الموصلات الا أنها ظلت لوقت طويل بعيدة عن أعين العلماء ٠ وكانت بعض الخواص الممتازة لهذه المواد مجهولة مما ساعد على أن تظل بعيدة عن الأضواء ٠ ولم يتجه العلماء الى ميدان أشباه الموصلات الذى لم يكن يعرف عنه الا القليل الا فى العقود الأخيرة فقط ، وجاء هذا نتيجة لحاجة الهندسة اللاسلكية لأدوات جديدة ، ولحاجة الصناعة لمواد جديدة ذات خواص معينة ٠

وقد عرفنا من قبل أن أ٠ س٠ بوبوف ومعاونيه قد استخدموا فى عام ١٩٠٠ كاشفات شبه موصلة لاستقبال الاشارات اللاسلكية والاستماع اليها باستخدام سماعات التليفون ٠ وتحول هذه الكاشفات التيار المتردد الى تيار ذى اتجاه واحد ، أى تقومه ، وهذه العملية ضرورية حتى يمكن الاستماع الى الاشارة اللاسلكية فى السماعات ٠

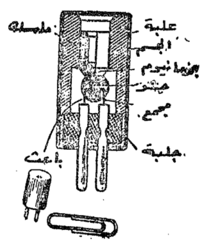
وكانت الكاشفات الأولى تصنع من البللورات الطبيعية مثل الجالينيت والبيريت والزينكيت والستانيت والكابوراندام وبيريت النحاس وبللورات أخرى ٠ وكان الكاشف البللورى فى تلك الأيام يتكون من وعاء معـــدنى توضع البللورة داخله وزنبرك للتلامس ذى طرف مدبب (شارب القطة) ٠ وللحصول على أحسن كشف ، كان من الضرورى تحريك شارب القط على سطح البللورة للبحث عن نقطة حساسة ، وبالطبع لم تكن هذه الطريقة بالأمر المريح أثناء الاستقبال ٠

وفى سنة ١٩٢٢ ، اكتشف و٠ ف٠ لوسيف الذى كان يعمل فى معمل نيشنى نوفجورود اللاسلكى ، امكانية استخدام الكاشفات البللورية

فى توليد الموجات اللاسلكية وتكبيرها ٠ ولكن نظرا لأن الصمامات الالكترونية كانت فى ذلك الحين فى ذروة دخولها المنتصر لميدان الالكترونيات، فان التجارب الأولى لاستخدام أشباه الموصلات لم تجذب الانتباه الا قليلا ٠ ومع ذلك فقد ظلت الكاشفات البللورية مستخدمة لزمن طويل فى أجهزة الاستقبال البسيطة حتى تغلبت الصمامات الالكترونية عليها تماما ومكنت بذلك من صنع أجهزة استقبال أكثر تعقيدا وتكبيرا وأكبر قدرة ٠

ثم أهملت الكاشفات البللورية ظلما ٠٠ حتى الحرب العالمية الثانية ، عندما أجبر انتقال الرادار الى استعمال الموجات السنتيمترية المهندسين على تصميم مكونات يمكنها أن تحل محل الصمامات الالكترونية فى هذا النطاق من الترددات ٠

وتتلخص المشكلة فى أن استخدام الصمام الالكترونى فى نطاق الترددات فوق العالية محدود بالقصور الذاتى للالكترون وبتأثير السعة بين أقطاب الصمام وبعضها ٠ وفى أثناء البحث عن حل ، تذكر العلماء الكاشفات البللورية الأولى ٠ وقد أدى هذا الى تطويرها الى أنواع أرقى ٠ فظهر أولا الكاشف السيليكونى ثم الكاشف المصنوع من الجرمانيوم ٠ وكان أول ما ظهر الثنائى ذو نقطة التلامس ، وهو يشبه من حيث المبدأ الكاشف القديم ولكنه يمتاز بصغر الحجم ومتانة التصميم وبأنه لا يحتاج فى تشغيله الى أى ضبط آخر ٠ ثم ظهر بعد ذلك ما يسمى بالنوع ذى الوصلة وبه نفس المميزات ولكن لا توجد به نقطة تلامس ٠ ثم ظهر من عدة سنوات أول طراز من الثلاثى شبه الموصل الذى سمى الترانزستور وكان لأول نوع نقطتا تلامس معدنيتان يلمسان لوح الجرمانيوم فى نقطتين قريبتين جدا ، الواحدة من الأخرى (شكل ٤٠) ٠ وكانت هاتان النقطتان والقاعدة



(شكل ٤٠) : الترانزستور ذو نقطة التلامس

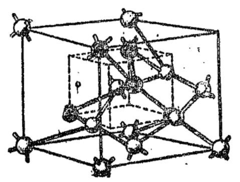
المعدنية التى تحمل البللورة شبه الموصلة هى أطراف الثلاثى • ويسلط على احدى نقطتى التلامس جهد موجب صغير وتعمل بطريقة تشبه الكاثود فى الصمام الالكترونى • وتسمى هذه النقطة الباعث • ويسلط على النقطة الثانية جهد أكبر بالنسبة للقاعدة وتسمى المجمع وتشبه فى عملها لوح الصمام الالكترونى • وتعمل القاعدة المعدنية للترانزستور عمـــل قطب التحكم • ويمكن أن تعمل الترانزستورات ذات نقط التلامس التى ظهرت فى السنين الأخيرة بترددات حتى ١٠٠٠ ميجاسيكل فى الثانية • ثم ظهرت بعد هذا النوع أنواع أخرى من الترانزستور سميت بالترانزستور ذى الوصلة ، والترانزستور ذى الوصلة النامية • وكانت فى البداية لا تستطيع أن تعمل الا بترددات منخفضة ، ولكنها شقت طريقها بعد ذلك الى الموجات الديسيمترية •

الالكترونات والثقوب

تنشأ الخواص الممتازة غير العادية لأشباه الموصلات من الطريقة التى يمر بها التيار الكهربائى خلالها •

كيف يمر التيار الكهربائى فى الجرمانيوم الذى يعتبر مثالا نموذجيا لأشباه الموصلات ؟ • ينتمى الجرمانيوم – كما نعلم – الى المجموعة الرابعة فى النظام الدورى للعناصر ، وبالتالى فان له أربعة الكترونات تكافؤ يمكنها الاشتراك فى التفاعلات الكيميائية وعمليات التوصيل الكهربائى •

وعندما تتكون بللورة الجرمانيوم ، تترتب الذرات (كما تفعل ذرات باقى الأجســـام البللورية) بنظام معين ثابت مكونة نســـقا بللوريا (شكل ٤١) • ويتكون النسق البللورى للجرمانيوم بحيث تكون كل ذرة



(شكل ٤١) : تركيب النسق البللورى للجرمانيوم •

مرتبطة مع أربع ذرات أخرى بوساطة ثنائى الكترونات • ومثل هــذه البللورة مستقر جدا ، خصوصا فى درجات الحرارة المنخفضة ، اذ ترتبط كل ذرة من ذراتها ارتباطا وثيقا بالذرات المجاورة مستخدمة فى ذلك جميع الكترونات التكافؤ الخاصة بها • وفى هذه الحالة ، لا توجد الكترونات حرة فى البللورة • لهذا تكون بللــورة الجرمانيــوم النقى فى درجات الحرارة المنخفضة عازلة للكهرباء ، أى لا توصل الكهرباء ، لأن المعادن ليست جيدة التوصيل للكهرباء الا لاحتوائهــا على الكترونات حرة • وتختلف المواد العازلة عن المعادن فى أنها لا تكاد تحتوى على أن الكترونات حرة قادرة على الحركة بين الذرات فى أية درجة من درجات الحرارة • وتستطيع أشباه الموصلات أن توصل التيار الكهربائى اذا ظهرت فيها الكترونات حرة نتيجة لتحطيم بعض الروابط التى بين الذرات مثلا • ويمكن أن يتم هذا التحطيم بتسخين شبه الموصل ، اذ بالتسخين تتذبذب الذرات بحيث يمكن لبعض الالكترونات ــ باكتسابها طاقة اضافية ــ أن تكسر روابطها بالذرات وتحرر نفسها منها • وتستطيع هذه الالكترونات أن تتنقل داخل البللورة حاملة التيار الكهربائى • وفى نفس الوقت تظهر امكانية أخرى لنقل التيــار الكهربائى فى المادة شبه الموصلة ولكن نتيجة لسبب آخر ، اذ أن المكان الذى يخلو بمغادرة الالكترون الذى كان يشغله يمكن أن يشغل بالكترون آخر مجاور • والمكان الذى يخلو بانتقال هذا الالكترون الثانى يمكن أن يشغل بالكترون ثالث • وهكذا نجد أنه بالاضافة الى مجموعة الالكترونات المتحركة داخل البللورة من ذرة الى أخرى فى اتجاه ما ، فان هناك مجموعة من الأماكن الشاغرة التى يمكن أن تشغلها الكترونات تتحرك فى الاتجاه المضاد ، وعادة يسمى المكان الخالى من الالكترونات « ثقبا » • وعندما تفقد ذرة ما الكترونا حاملا لشحنة سالبة ، تصبح الذرة التى كانت متعــادلة موجبــة ، ومن هنا يمكن القول بأن الالكترون يمثل شحنة سالبة ، بينما يمثل الثقب شحنة موجبة •

وتتحرك الالــكترونات التى تحررت من الذرات بفعل الحرارة حركة عشوائية بين الذرات • ولكن اذا سلط مجال كهربائى خارجى على البللورة تتحرك الالكترونات نحو الطرف الموجب مكونة بذلك تيــارا كهربائيا • ويسمى هذا التيار الناتج من الالكترونات الحرة بتيار الالكترونات ، وتسمى أشباه الموصلات التى يسرى فيها التيار بهذه الطريقة بأشباه الموصلات ذات التوصيل بالالكترونات •

ولأشباه الموصلات طريقة أخرى فى توصيل التيار الكهربائى وهى ما يسمى بالتوصيل بالثقوب • وفى حالة عدم وجود مجال خارجى تتحرك مجموعة الثقوب حركة عشوائية فى البللورة ، ولكن اذا ما سلط مجال

خارجى عليها يتغير الوضع تغيرا جذريا · اذ تشغل الالكترونات الثقوب المجاورة للقطب السالب · وهذه هى الطريقة التى تتحرك بها الالكترونات الى القطب الموجب · ويسمى هذا التيار بتيار توصيل الثقوب · ويكون عدد الالكترونات المتحررة وعدد الثقوب الشاغرة فى بللورة الجرمانيوم التى نتكلم عنها واحدا بالطبع ، ويكون لشبه الموصل هذا خاصية التوصيل بالالكترونات والثقوب جميعا ، أى تحتوى على شحنات من النوعين · وتسمى هذه الخاصية بالموصلية الذاتية للبللورة ·

ولكن يمكن ايجاد حالة فى بللورة شبه موصلة لا يكون فيها عدد الثقوب مساويا لعدد الالكترونات الحرة · وفى مثل هذه البللورة يكون أحد نوعى التيار غالبا على الآخر : اما تيار الالكترونات أو تيار الثقوب · ويمكن الحصول على هذا الوضع بادخال احدى الشوائب على الجرمانيوم النقى · والشوائب التى تغلب تيار الثقوب على تيار الالكترونات هى الانديوم والجاليوم ومواد أخرى · والشوائب التى تغلب تيار الالكترونات هى الأنتيمون والزرنيخ والبزموت ومواد أخرى ·

ولنفرض الآن أن بللورة من الجرمانيوم قد « لوثت » بالزرنيخ ، فنتيجة لهذا تحل بعض ذرات الزرنيخ محل بعض ذرات الجرمانيوم فى النسق البللورى ، وللزرنيخ خمس الكترونات تكافؤ ترتبط أربعة منها بالالكترونات الأربعة لذرات الجرمانيوم المجاورة ، بينما يظل الخامس حرا ، ونتيجة للحركة الحرارية للذرات ، يستطيع هذا الالكترون أن يترك ذرته بسهولة ويصبح موصلا للتيار ، تيار الالكترونات · وبهذا يكون التوصيل بالالكترونات هو الغالب فى هذه البللورة « الملوثة » · وبالطبع تعتمد قيمة التيار الالكترونى على عدد الذرات الدخيلة التى أضيفت الى النسق البللورى للجرمانيوم ·

وكيف نحصل اذن على جرمانيوم ذى توصيل بالثقوب ؟ يكفى لهذا **اضافة كمية صغيرة من العنصر النادر ، الانديوم** ، الى الجرمانيوم النقى ، اذ أن لذرة الانديوم ثلاثة الكترونات تكافؤ فقط يمكنها أن ترتبط بثلاث ذرات مجاورة من ذرات الجرمانيوم ، وبهذا يظل الرابط الرابع خاليا مكونا ثقبا · ويمكن لهذا الثقب أن يمتلىء بالكترون من احدى الذرات المجاورة بعد أن يقطع رابطته بها فتصبح ذرة الانديوم بهذا مشحونة بشحنة سالبة ، ولكن يتكون بجوارها ثقب جديد يمكن أيضا أن يملأ على حساب ذرة مجاورة وهكذا · وبهذه الطريقة تكون الغلبة للثقوب الناتجة عن احلال بعض ذرات الجرمانيوم بذرات من الانديوم سببا فى التوصيل بالثقوب ·

ويحق لنا الآن أن نتساءل : كيف يحدث التقويم فى شبه الموصل ؟

يتم التقويم ـ أى تحويل التيار المتردد الى تيار فى اتجاه واحـــد ـ فى الثنائيات شبه الموصلة لأن مقاومتها تعتمد على اتجاه التيار ، وهى فى هذا تشبه الثنائيات المفرغة التى لا تتحرك الالكترونات فيها الا من الكاثود الى الأنود • وفى شبه الموصل المتجانس ، سواء أكان من نوع الالكترونات أو من نوع الثقوب ، لا تعتمد المقاومة على اتجاه التيار ، ولهذا لا يمكن استخدام شبه موصل متجانس فى التقويم ، ولكن الأمر يختلف عند الوصلة ما بين نوعين مختلفين من أشباه الموصلات أو عند الوصلة بين شبه موصل ومعدن •

وأوضح مثال لهذه العملية هو ما يحدث عند الوصلة بين منطقتين احداهما توصل بالالكترونات والاخرى بالثقوب • ويمكن الحصول على هذه الوصلة مثلا باضافة نقطة أو طبقة رقيقة من الانديوم على أحد أسطح بللورة من الجرمانيوم ذات توصيل بالالكترونات نتيجة لاضافة كمية صغيرة من الانتيمون من قبل • اذ يحول الانديوم ـ بتغلغله الى مسافة صغيرة فى بللورة الجرمانيوم ـ هذه الطبقة الى منطقة ذات توصيل بالثقوب • وتتكون وصلة داخل البللورة بين المنطقة ذات التوصيل بالالكترونات وتلك ذات التوصيل بالثقوب •

ونتيجة للحركة الحرارية العشوائية ، تمر الالكترونات من منطقة التوصيل بالالكترونات الى منطقة التوصيل بالثقوب ، فتشحن هذه المنطقة بشحنة صغيرة سالبة بالنسبة لباقى بللورة الجرمانيوم • وهذه الشحنة تمنع الالكترونات من الانتقال بعد ذلك الى منطقة التوصيل بالثقوب مكونة ما يسمى بفرق جهد التلامس عن الحد الفاصل بين المنطقتين • وتنشأ بهذا حالة من التوازن الديناميكى فى البللورة حيث تنتقل أعداد متساوية من الالكترونات من الجهتين عبر الحد الفاصل • ولكن مع هذا تظل منطقة الحد الفاصل خالية من حاملات التيـــار الكهربائى اذ يطرد المجـــال الكهربائى المتكون عند الوصلة الالكترونات والثقوب بعيدا عنهـــا الى داخل منطقتى التوصيل •

وبهذا تتكون طبقة يصل سمكها الى جزء من مائة جزء من المليمتر على جانبى الوصلة تفتقر الى حاملات التيار وبالتالى تكون مقاومتها عالية •

فاذا وصلت بطارية ببللورة الجرمانيوم بحيث يوصل طرفها السالب بالسطح المحتوى على الانديوم وطرفها الموجب بالسطح المقابل ، فان المجال الكهربائى عند الوصلة يزيد وتتنافر الالكترونات والثقوب مع الوصـــلة بدرجة أقوى ، ويزداد عرض الطبقة الفقيرة فى حاملات التيار • ونتيجة لهذا تزيد مقاومة الطبقة الفاصلة ويقل التيار المار من البطارية الى البللورة الى درجة كبيرة •

فاذا عكس قطبا البطارية ، يقل المجال عند الوصلة فيقل سمك الطبقة الفقيرة في حاملات التيار وبالتالى تقل مقاومتها • وفى هذه الحالة يمر فى البللورة تيار أكبر بكثير من الحالة السابقة •

وعند استخدام ثنائى شبه موصل كمقوم ، تسلط عليه فلطية مترددة ، فتغير هذه الفلطية المترددة من سمك الطبقة الفاصلة وبالتالى تغير مقاومتها دوريا • ونتيجة لذلك يكون التيار المار عبرها فى اتجاه ما أكبر بمئـات ، بل آلاف المرات ، من التيار المار في الاتجاه المضاد ، أو بعبارة أخرى يمر التيار فى البللورة فى اتجاه واحد أساسا • وهكذا يتم تقويم التيار المتردد باستخدام الثنائى شبه الموصل •

كنا حتى الآن نتكلم عن الثنائى ذى الوصلة ، والأمر لايختلف بالنسبة للثنائى ذى نقطة التلامس ، اذ توجد فيه أيضا طبقة رقيقة على سطح شبه الموصل تكون طريقة التوصيل فيها عكس باقى البللورة ، ولا تستخدم مساحة الوصلة بين المنطقتين بأكملها فى التقويم ، بل يستخدم قطاع صغير منها فقط ، قريبا من الطرف المدبب للملامس أو اللولب المعدنى •

ومن مميزات الثنائى ذى نقطة التلامس ، انخفاض السعة الكهربائية للملامس بحيث يمكن استعماله فى الترددات العالية جدا ، أى فى نطاقى الترددات السنتيمترية والمليمترية • أما مميزات الثنائى ذى الوصلة فهى تصميمه المتكامل الذى يجعله قويا ويمكن الاعتماد عليه ومساحة التـلامس الكبيرة التى تسمح بمرور تيارات عالية •

أما الثلاثى شبه الموصل — ويسمى الترانزستور — فهو أساسا عبارة عن ثنائيين شبه موصلين على بللورة شبه موصلة واحدة • ويكتسب الترانزستور خاصيته الجديدة وهى التكبير نتيجة لتوصيل بطارية بأحد الثنائيين فى الاتجاه الأمامى بينما توصل بطارية أخرى بالثنائى الثـانى فى الاتجاه العكسى • وهذا يعنى أنه فى الوقت الذى توصل فيه بطارية الثنائى الأول بعكس فرق جهد التلامس ، بحيث يقل سمك الطبقة الفاصلة، يزيد سمك هذه الطبقة فى الثنائى الثانى • ولكن هذا وحده ليس كافيا لاكتساب خاصية التكبير ، اذ يجب على منطقتى الانتقال فى كلا الثنائيين أن تتراكبا بطريقة ما اذا أريد للثنائيين أن يكتسبا خاصية الثلاثى وفى هذه الحالة تؤثر الفلطية التى على أقطاب الثنائى الأول على تيار الثنائى الثانى وبالعكس •

ولما كان الثنائى الأول مفتوحا أى أن مقاومته صغيرة ، فانه لا يتأثر بحالة الثنائى الثانى الا تأثرا طفيفا • أما الثنائى الثانى فانه مقفول أى أن

مقاومته عالية جدا ، لهذا فان أى حاملات تيار تخترقه من الثنائى الأول تؤثر تأثيرا كبيرا على مقاومته وبالتالى تغير التيار المار فيه تغييرا كبيرا . وهذا هو التكبير ، اذ تولد فلطية منخفضة مسلطة على أقطاب الثنائى الأول تغييرا كبيرا فى التيار المار فى الثنائى الثانى .

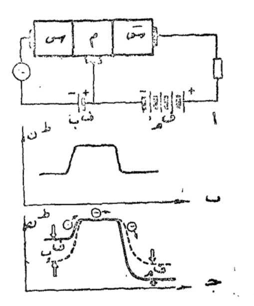
وقد كان الترانزستور الأول من نوع نقطة التلامس . وكان يصنع بتكوين طبقة رقيقة ذات توصيل بالثقوب على سطح بللورة من الجرمانيوم ذات توصيل بالالكترونات وذلك باضافة المادة المناسبة . ويتكون الثنائيان من طرفى زنبركين معدنيين رفيعين يوضعان على هذا السطح . وتكون المسافة بين طرفى هذين الزنبركين المعدنيين من خمسة الى ٢٥ جزءا من مائة من المليمتر . وفى هذه الحالة تتراكب منطقتا الانتقال فى الثنائيين تراكبا جزئيا . وكل ما يتبقى بعد هذا هو توصيل شبه الموصل الجديد بالدائرة الكهربائية توصيلا صحيحا .

وتسمى بللورة الجرمانيوم المشتركة بين الثنائيين « القـــاعدة » . ويسمى الزنبرك المتصل بالبطارية فى الاتجاه الامامى « الباعث » الذى منه تدخل حاملات الشحنة الى المنطقــة الفاصلة فى الثنائى الأول ، ويسمى الزنبرك الثانى المتصل بالبطارية فى الاتجاه العكسى « المجمع » ويسحب الحاملات من الثنائى الثانى ، وهكذا يعمل الباعث هنا عمل الكاثود فى الصمام ، بينما يعمل المجمع عمل الأنود ، وتعمل القاعدة عمل الشبكة الحاكمة ، لأن الفلطية بينها وبين الباعث تحدد كمية الحاملات التى تدخل المنطقة الفعالة فى شبه الموصل أو بمعنى آخر التيار الذاهب الى المجمع .

ويستطيع الترانزســـتور ذو نقطة التـــلامس أن يكبر الذبذبات الكهربائية ويولدها بترددات تصل الى عدة عشرات بل مئات الميجاسايكل فى الثانية ولكنها منخفضة القدرة نسبيا ، ولا يمكن الحصول على قدرات عالية الا بالتحول الى التصميم ذى الوصلة .

ويمكن الحصول على ترانزستور ذى وصلة بادخال شوائب تسـبب توصيلا بالثقوب الى جانبى بللورة من الجرمانيوم ذات توصيل بالالكترونات . فاذا كانت الوصلتان قريبتين بالدرجة الكافية تصبح البللورة ترانزستورا جاهزا للتشغيل (شكل ٤٢) .

ويستطيع مثل هذا الترانزستور ذو سطح التشغيل الكبير أن يولد قدرات تصل الى مائة وات ، وهى قدرة لا تستطيعها أقوى الصمامات المفرغة المستخدمة فى أجهزة استقبال الراديو والتليفزيون ، ولكنه لا يستطيع أن يعمل الا عند ترددات منخفضة نسبيا .



(شكل ٤٢) : ترانزستور ذو وصلة
(ا) وتوزيع الجهد (ب) فى حالة عدم وجود فلطية خارجية
(جـ) فى حالة وجود فلطية خارجية

وفى سنة ١٩٥٤ ظهر نوع جديد من الترانزستور · ويتكون هذا الترانزستور من لوح رقيق من الجرمانيوم تحفر على كل من جانبيه ــ بوسائل كهربائية ــ خليتان صغيرتان بحيث يصبح سمك طبقة الجرمانيوم بينهما خمسة أجزاء من الألف من المليمتر فقط · ثم تضاف طبقة رقيقة من الانديوم الى قاعى هاتين الخليتين فتتكون على كل من جانبى اللوح وصلة بين منطقتى توصيل بالالكترونات والثقوب · وهكذا تضمن قلة سمك القاعدة المتناهى تراكبا كافيا لوصلتى الثنائيين·ويستطيع هذا الترانزستور أن يعمل عند ترددات تصل الى ما يزيد على مائة ميجا سايكل فى الثانية أى فى نطاق الموجات القصيرة جدا · وفى نفس الوقت فانه أكثر اقتصادا من الترانزستور ذى نقطة التلامس بما يتراوح بين عشر مرات الى عشرين مرة ، كما انه أقوى منه بكثير ·

وقد تكلم البعض فى سنة ١٩٥٤ عن نوع من الترانزستور أكثر تعقيدا من ذلك · وفى هذا الترانزستور وضعت طبقة رقيقة من الجرمانيوم النقى ذى توصيل طبيعى بين قاعدة ذات توصيل بالالكترونات ومجمع ذى توصيل بالثقوب ، وقد مكن هذا من رفع الحد الأقصى للتردد بدرجة لا بأس بها ·

وهناك آفاق أوسع بكثير أمام الترانزستور المصنوع من السيليكون، اذ يمكن تصميم ترانزستورات من السيليكون أكبر قدرة وأكثر استقرارا من الناحية الحرارية للعمل عند الترددات الأعلى ·

وفى وقتنا هذا توجد أنوع من الترانزستور يمكنها العمل عند ترددات تصل الى حوالى ١٠٠٠ ميجاسيكل فى الثانية ، أى بموجة طولها حوالى ٣٠ سنتيمترا ٠

ومن المميزات الرئيسية لأشباه الموصلات عن الصمامات المفرغة عمرها الطويل جدا الذى قد يصل الى عشرات الآلاف من الساعات (يتراوح عمر صمامات الراديو المعتادة بين ٥٠٠ ساعة و ١٠٠٠ ساعة) ٠

آفاق جديدة

مكن استخدام الثنائيات والثلاثيات المصنوعة من أشباه الموصلات مع المكونات الصغيرة والدوائر المطبوعة من تصميم معدات مدمجة وصغيرة جدا ومتينة ٠ وباستخدام الدوائر المطبوعة يقل استخدام الأسلاك الى أقصى حد ٠ وتصنع الدوائر المطبوعة من ألواح من الخزف أو البلاستيك وطلاء خاص يعطى سطحا عالى التوصيل للكهرباء ٠ ولا تكتفى هذه الطريقة بالاستغناء عن الأسلاك التى تصل المكونات بعضها ببعض ٠ بل يمكنها أيضا « طلاء » ملفات ومكثفات أيضا ، بل ومقاومات ، ولكن باستخدام طلاء آخر ٠ أما المكونات التى لا يمكن « طلاؤها » مثل المحولات وأشباه الموصلات ، فانها توصل بالدائرة المطبوعة ببساطة ٠

وكذلك مكن استخدام الأنواع الجديدة من البطاريات الجافة الصغيرة مع الدوائر المطبوعة وأشباه الموصلات والهوائيات الصغيرة المصنوعة من أشباه الموصلات المغناطيسية (الغرايت) من تصميم أجهزة راديو ذات مكبرات للصوت بحجم صندوق السجائر ٠ ويحتوى هذا الراديو على بطارية جافة يمكنها تغذية الجهاز لمدة شهر فى الظروف المعتادة ٠

كما صممت بالفعل أجهزة تليفزيون يكون الصمام المفرغ الوحيد فيها هو صمام الصورة بينما تقوم أشباه الموصلات بجميع الوظائف الأخرى ٠ ومثل هذا التليفزيون بالطبع أصغر حجما وأخف وزنا بكثير من الأجهزة المعتادة كما لا يقارن بها من الناحية الاقتصادية ٠

وقد استخدمت اشباه الموصلات فى آلة حاسبة الكترونية تجريبية كانت تحتوى على ١٢٥٠ صماما ٠ وكانت النتيجة أن انخفض استهلاك القدرة من ٢ر٦ كيلو وات الى ٣١٠ وات (الانخفاض حوال ٩٥ ٪) ٠ كما صغرت ابعاد الآلة الى النصف ولم يعد من الضرورى تبريدها اصطناعيا بينما زاد عولها وعمرها زيادة كبيرة ٠

وقد بدأ بنجاح استخدام اشباه الموصلات والدوائر المطبوعة فى أجهزة الرادار وأجهزة الملاحة اللاســـلكية وبخاصة تلك الموجودة فى الطائرات والصواريخ ٠

ولا يتقيد استخدام اشباه الموصلات بالهندسة اللاسلكية ، فان خواصها الرائعة تفتح لها امكانيات جديدة فى ميادين أخرى مختلفة تماما عن ميادين الهندسة ٠

فقد أمكن مثلا تصميم مجسات حساسة وصغيرة مصنوعة من اشباه الموصلات لقياس درجات الحرارة ، وذلك لأن موصلية اشباه الموصلات تتغير بتغير درجات الحرارة ٠ وتسمى هذه المجسات الثرمستور ٠ ويمكن أن يشعر الثرمستور بتغير فى درجة الحرارة يصل ٠٠٠٥ر٠م° ٠ وتصنع هذه الأدوات شبه الموصلة على شكل شعيرة أو كرة صغيرة أو لوح ٠ وتستخدم الهندسة اللاســـلكية الثرمستور أساسا لقياس القدرة عند الترددات العالية جـدا ٠ فيوضع الثرمستور داخل دليل موجى يمده بالطاقة ذات التردد العالى جدا ٠ وباستخدام أعضاء خاصة للموافقة يمكن التأكد من أن الثرمستور يمتص جميع الموجـات الساقطة عليه بحيث يتناسب ارتفاع درجة حرارته مع قدرة الموجة ، وهكذا يمكن بقياس مقاومة الثرمستور معرفة درجة حرارته وبالتالى قدرة الموجات السلكية المسلطة عليه ٠

ويستخدم الثرمستور كثيرا فى دوائر تحكم لاسلكية متعددة مثل دوائر التحكم الاوتوماتيكى فى اتساع ذبذبات مولدات التيار المتردد التى تعمل بصـمامات ، وفى دوائر التحـكم الاوتوماتيكى فى التكبير ٠٠٠ الخ ٠

ولا يمكن الاســتغناء عن الثرمستور كوســيلة لارسال الاشارات أو للمراقبة أو للتحكم فى جميع العمليات التى يصاحبها تولد حرارة ٠ ويمكن أن يوضع فى الأماكن التى يصعب الوصول اليها ، فيرسل الاشارة بنفاذ الشحم فى الأماكن المعرضة للاحتكاك فى المكنات المعقدة أو بالتغير فى الضغط المصاحب للتغير فى درجات الحرارة ، أو بالتغير فى الظروف الحرارية للعمليات التكنولوجية المختلفة ٠ وكذلك يمكن استخدامه فى البيوت الزجاجية لتربية النبات ، حيث يجب الاحتفاظ بدرجة حرارة الهواء ثابتة ٠ أما فى مخازن الغلال والخضروات فيستطيع الثرمستور أن يعطى التحذير فى الوقت المناسب بأن المخزون قد بدأ يتعفن ، لأن التعفن يصاحبه ارتفاع فى درجة الحرارة ٠ وفى الفلك يستخدم الثرمستور فى قياس درجات حرارة الكواكب ، وفى الدراســـات الحيوية يوضع الثرمستور فى ساق النبات أو احدى أوراقه لدراسة التبادل الحرارى الذى

يصاحب التفاعلات الكيميائية فى النبات • ويستخدم الأطباء نوعا خاصا من الثرمستور لقياس درجات حرارة المعدة واعضاء أخرى بدقة • وفى المتيورولوجيا (دراسة طبقات الجو) يستخدم الثرمستور فى قياس رطوبة الهواء وسرعة الريح وطبيعته • ويستخدم الثرمستور أيضا فى الزراعة لتحديد درجة حرارة التربة ورطوبتها وفى ميكنة عدد من القياسات الأخرى •

وقد فتحت تلك الخواص الممتازة للمواد شبه الموصلة طريقا سهلا ورخيصا لتحويل الطاقة الحرارية الى طاقة كهربائية بغير حاجة الى مكنات معقدة وغالية التكاليف • ولقد كان معروفا منذ القرن الماضى انه اذا سخنت وصلة من معدنين متغايرين سرى تيار كهربائى فيها • وتلاحظ نفس الظاهرة فى أشباه الموصلات ولكن بدرجة أكبر • فاذا وصلت مادة شبه موصلة بأخرى ذات طبيعة التوصيل للآخر ، فانهما عند التسخين يكونان ما يسمى بالعنصر الحرارى • وكفاية هذا المصدر من مصادر التيار الكهربائى عالية ، اذ يمكن أن تصل الى ١١٪ • ومع ذلك فليست هذه هى النهاية بالنسبة للعناصر الحرارية شبه الموصلة ، اذ يمكن ترتيب مثل هذه العناصر فى بطاريات يمكنها أن تغذى محطة لاسلكية صغيرة من الحرارة الصادرة من مصباح غازى أو فرن غازى أو حتى نار المعسكر • وواضح ان مثل هذه المصادر للتيار الكهربائى المصنوعة من أشباه الموصلات لا يمكن الاستغناء عنها فى المناطق النائية التى لم تدخلها الكهرباء بعد وبخاصة المناطق الشمالية ، مثل التندرا والتايجا • أما فى المناطق الجنوبية من الكرة الأرضية فتستخدم العناصر الحرارية لتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية ، وفى المناطق الأخرى من الأرض تستخدم هذه العناصر فى استغلال حرارة الغازات المتخلفة فى صناعات التعدين وما أشبه •

ويمكن استخدام أشباه الموصلات فى عمليات غير عادية مثل الحصول على البرودة من الحرارة والحرارة من البرودة • ولقد ذكرنا لتونا أنه عندما تسخن وصلة مكونة من مادتين من أشباه الموصلات يسرى فيها تيار كهربائى • وقد قام الأكاديمى الروسى لنتز بتجربة العكس ، اذ مرر تيارا كهربائيا فى وصلة مكونة من البزموت والأنتيمون واكتشف أنها تسخن بمرور التيار فى اتجاه معين ، فاذا عكس اتجاهه فانها تبرد ، وتمكن بهذه الطريقة من تجميد نقطة من الماء وضعها على الوصلة ، وبهذا اكتشف العناصر أن الحرارية شبه الموصلة يمكنها توليد الحرارة وكذلكالبرودة •

وباستخدام هذه الخاصية من خواص اشباه الموصلات يمكن الحصول على أى نوع من المناخ على صورة مصغرة فى الأحياء السكنية • ولا شك

فى أن نظــام التدفئة المركزية المستعمل فى أيامنا هذه سيستبدل فى المستقبل ببطاريات من العناصر الحرارية تدفىء المنزل فى الشتاء وتبرده فى الصيف ، وقد تم بالفعل تصميم ثلاجة فريدة تعتمد فى تشغيلها على هذه الخاصية لأشباه الموصلات ، وتستهلك هذه الثلاجة طاقة أقل من الثلاجة ذات الكباس أو أى نوع آخر من الثلاجات الموجودة الآن ٠

وكذلك مكنت اشباه الموصلات من الحصول على نوع جديد من أنواع تحويل الطاقة ، ألا وهو تحويل الطاقة الذرية مباشرة الى طاقة كهربائية ٠ وهناك بالفعل بطاريات من أشباه الموصلات تحول طاقة تحلل أحد النظائر الاصطناعية المشــــعة لمادة الاسترونشيوم الى طاقة كهربائية ٠ ويمكن استغلال مثل هذه البطاريات فى المحيطات المتيورولوجية البعيدة مثل تلك المقامة على قمم الجبال أو فى المناطق القطبية فتغذى المحطات بالطاقة الكهربائية بصفة مستمرة لعدة عشرات من السنين ٠

وبدراسة خواص أشباه الموصلات المعروفة حتى الآن ونتائج آخر الأبحاث ، يمكن التأكيد بأن أشباه الموصــــلات هى مواد المستقبل ٠ فلأشباه الموصلات امكانيات غير محدودة مازلنا فى بداية الطريق الى تحقيقها ، وقد قامت مدرسة الفيزيائيات السوفيتية التى أسسها بطل العمل الاشتراكى الأكاديمى أ ٠ ف ٠ يوف بكثير من الأبحاث على أشباه الموصلات واستخداماتها فى الأعوام الخمس وعشرين الماضية ٠ وتعطى نتائج الأعمال التى قام بها العلماء السوفيت أسبابا للاعتقاد بأن اشباه الموصلات ستساعد على النهوض بالهندسة اللاسلكية ، وهندسة القدرة الكهربائية والميكنة والقياسات وتقنيات الاضــــاءة الى أعلى درجة من التطوير ٠

الألكترونيات وغزو الفضاء

سيسجل تاريخ البشرية اليوم الرابع من أكتوبر عام ١٩٥٧ كبداية عصر جديد ، عصر غزو الفضاء . وقد عبرت الأقمار الاصطناعية التى أطلقها الاتحاد السـوفيتى عن ملخص التقدم التكنولوجى فى الاتحاد السوفيتى فى الأعوام الأربعين الأخيرة منذ قيام ثورة أكتوبر الكبرى . وكان هذا اختبارا لفرع الالكترونيات ، ، كما كان أيضا اختبارا لكثير من فروع العلم والهندسة الأخرى .

وتشارك المعدات اللاسلكية فى اطلاق الصاروخ الذى يضع القمر الاصطناعى فى مداره وفى القيام بالأبحاث المعقدة التى تتم بمساعدته . ويلقى العبء الأكبر على عاتق الآلات الحاسبة الالكترونية فى حساب مسار القمر الاصطناعى ، وحل عدد من المسائل المعقدة التى تدخل فى تصميمه واطلاقه .

ويتكون جزء لا بأس به من معدات القمر الاصطناعى نفسه من أنواع متعددة من المعدات الالكترونية ومنابع التغذية ، كما شارك كثير من المحطات اللاسلكية ومحطات الهواة فى متابعة الاشارات اللاسلكية الصادرة من أجهزة الارسال الموجودة فى هذه المعامل الطائرة ، كما استمرت محطات الرادار فى مراقبة الأقمار التى أطلق عليها اسم سبوتنيك الى ما بعد استهلاك منابع تغذيتها .

ان اطلاق قمر صناعى عملية معقدة لا يمكن للانسان أن يتحكم فيها بطريقة مباشرة ، اذ أن الدقة المطلوبة للقيام بالعمليات المعقدة اللازمة للتحكم فى تلك الصواريخ القوية الواحدة بعد الأخرى عالية جدا ، وأتفه خطأ لا يعنى الا الفشل ، وكذلك يجب أن تدخل فى الحسبان تيارات الهواء التى قد تحرف مسار الصاروخ وبخاصة فى المرحلة الأولى من

الانطلاق فى الطبقات الكثيفة من الجو حيث تكون السرعة منخفضة نسبيا . لذلك صمم المهندسون معدات أتوماتيكية تعمل على مواجهة أى موقف غير متوقع علاوة على تلك الخاصة باطلاق الصاروخ .

وبعد اتمام كافة التحضيرات واختبار كافة الأجهزة وتركيبها فى رأس الصاروخ وملء خزانات الوقود ، يتراجع العلماء والمهندسون وطاقم الاطلاق الى المخبأ .

وهنا يبدأ عهد الآليات ، ففى اللحظة المحددة للاطلاق تدار محركات الصاروخ ، وفى الحال تبدأ آلات التصوير السينمائى فى العمل ، ويبدأ الصاروخ فى الارتفاع الى أجواز الفضاء ببطء وعظمة أولا ، ثم بسرعة متزايدة . وبانتهاء مهمة المرحلة الأولى من الصاروخ تنفصل هذه المرحلة آليا عن باقى الصاروخ ويشتعل محرك المرحلة الثانية آليا .

وبانتهاء الجزء الرأسى من مسار الصاروخ بدقة تامة ، تعمل آلات أتوماتيكية على ادخال الصاروخ فى منحنى لطيف الى مساره المحدد من قبل . وعندما ينتهى احتراق وقود المرحلة النهائية من الصاروخ بأكمله، يكون القمر الاصطناعى قد وصل الى مداره وأصبح جسما كونيا خاضعا لقوانين الجاذبية الكونية .

ولم يكن القمر الاصطناعى الأول معملا كونيا بالمعنى الكامل ، اذ لم يكن مجهزا بالمعدات اللازمة لاكتشاف الفضاء مباشرة ، ومع ذلك فقد تم تنفيذ برنامج واسع من الدراسات العلمية باستخدامه وكان أهمها دراسة انتشار الموجات اللاسلكية ودراسة مدار القمر الاصطناعى ، الأمر الذى أدى الى الحصول على بيانات قيمة عن تركيب الأرض وكثافة الطبقات العليا من الجو .

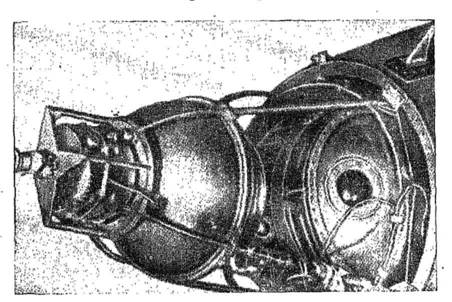
وقد زود سبوتنيك ـ ١ بجهازى ارسال يعمل أحدهما بتردد قدره ٢٠٫٠٠٥ ميجاسيكل والآخر بتردد قدره ٤٠٫٠٠٢ ميجاسيكل (أى بموجتين طولهما ١٥ ، ٧٫٥ مترا على الترتيب) . وكانت الاشارات المرسلة منهما على شكل نقط حسب اشارات مورس تستغرق الواحدة ٠٫٣ ثانية ويتبعها سكون لنفس الزمن ، وكان الجهازان يعملان على التناوب فيرسل أحدهما فى فترات سكون الآخر . وكانت قدرتهما كافية لضمان استقبال اشارتهما استقبالا يعتمد عليه الى مسافات بعيدة . ولقد حدث فى عدة مناسبات أن سمعت هذه الاشارات الى مسافة ١٠٠٠٠ كيلومترا .

وحتى تلك الساعة ، لم يكن من الممكن القيام بأبحاث عن الايونوسفير بدقة كافية ، فان الدراسات النظامية التى تتم فى محطات دراسة

الايونوسفير الأرضية لا يمكنها أن تعطى الا معلومات « من جانب واحد »، اذ لا تستطيع هذه المحطات أن تعطى بيـــانات الا عن تلك المناطق من الايونوسفير التى تقع تحت طبقة ف ٢ ، وهى منطقة أعلى تأين • أما القمر الاصطناعى فيخترق الطبقات العليا من الايونوسفير مرتين فى كل دورة ومن هنا أمكن الحصول على بيانات قيمة عن الايونوسفير بأكمله عن طريق مراقبة اشارات جهازى الارسال بالقمر الاصطناعى بانتظام ، وكانت من النتائج البالغة الأهمية لهذه الدراســة ان الاشارة التى طول موجتها ١٥ مترا تأثرت بالايونوسفير أكثر بكثير من الاشارة التى طول موجتها ٥ر٧ مترا • وقد أدت هذه المقارنة لقوتى الاشارتين الى معلومات قيمة عن الظروف الفيزيائية فى الطبقات العليـــا للايونوســـفير وعن تأثير الايونوسفير على الاتصالات اللاسلكية •

وقد سجلت المحطات العلمية ، وكذلك ســـجل كثير من هواة اللاسلكى ، اشارات سبوتنيك مع اشارات ضبط الوقت الدقيقة على أشرطة مغناطيســـية ، وقد أدت هذه التسجيلات الى بيانات هامة عن الايونوسفير كما مكنت من حساب مدار القمر الاصطناعى ومدة دورته حول الأرض مما كان أساسا لأبحاث جيوفيزيائية أخرى •

ولم تختلف المعدات اللاسلكية فى القمر الاصطناعى سبوتنيك ــ ٢ عن تلك التى كانت فى سبوتنيك ــ ١ ، ولكن المعدات العلمية التى بلغ وزنها ٣ر٥٠٨ كيلو جراما • حولت هذا القمر الى محطة علمية كونية أوتوماتيكية ذات ثلاثة « معامل » (شكل ٤٣) •



(شكل ٤٣) : وعاء المعدات العلمية فى القمر الصناعى السوفيتى الثانى .

وقد احتوى المعمل البصرى على ثلاثة مضاعفات ضوئية خاصة بين كل منهـا وزميله ١٢٠° لقيـاس الاشـعة السـينية والاشـعاع فوق البنفسجى ٠

ومن المعروف أن جو الأرض يمتص الأشعة السينية الصادرة من الشمس تماما وكذلك الغالبية العظمى من اشعاع الشمس فوق البنفسجى، ولا تصل الى الأرض الا نسبة ضئيلة منه وهى ذات الموجات الأطول التى تقترب من موجات الضوء المرئى ٠ ولهذا لا يصل الى سطح الأرض ذلك الجزء من الطيف الشمسى الذى يحتوى على أعلى طاقة ، وهذا يقى الحياة على الأرض من التأثير المميت للاشـعاع القصير الموجة الصادر من الشمس ، كما انه أيضا يمنع دراسته من على سطح الأرض ، وقد كانت أولى الدراسات التى تمت على الأشعة فوق البنفسجية ذات الموجة القصيرة والأشعة السينية الصادرة من الشمس هى تلك التى تمت باستخدام الصواريخ التى تصل الى ارتفاعات شاهقة ، ومع ذلك فان تلك الأرصاد التى تتميز بقصر مدتها لا تسمح بالقيام بدراسة منظمة يمكنها أن تربط بين التغير فى شـدة هذه الاشـعاعات والعمليـات المختلفة التى فى الشمس ٠

أما الأقمار الاصطناعية فانها تسمح بالقيام بعدد من الأرصاد القيمة نظرا لتغير ارتفاعها بانتظام بحيث يمكن ايجاد العلاقة بين الاشعاع قصير الموجة والعمليات التى تحدث على سـطح الشـمس ٠ ونظرا لأن القمر الاصـطناعى يكون فى ظل الأرض لفترة معينة خـلال كل دورة من دوراته ، فقد صممت المضاعفات الضوئية والأجهزة المصاحبة لها بحيث تعمل بأشعة الشمس ، ويتم تشغيلها بوساطة مقاومات ضوئية ، وقد وضعت المقاومات الضوئية الثلاث بحيث تضاء كل منها بأشعة الشمس عندما تسقط هذه الأشعة على المضاعف الضوئى المناظر لها فقط ، وحينئذ تقفل المقاومة الضوئية دائرتى المضاعف الضوئى والجهاز الاوتوماتيكى ، ونتيجة لهذا يغطى المضاعف الضوئى المعرض لأشعة الشمس أتوماتيكيا بعدة مرشحات الواحد بعد الآخر بعضها من المعدن الرقيق وبعضها من أغشية من مواد عضوية وبعضها من مواد بصرية خاصة ٠ وتسمح هذه المرشحات بفصل النطاقات المختلفة من طيف الشمس ذى الموجة القصيرة ٠ وتكبر الاشارات الناتجة عن المضاعف الضوئى وترسل الى الأرض عن طريق جهاز للقياس عن بعد ٠

وستؤدى المقارنة بين هذه البيانات والأرصاد التى قامت بها المحطات الأرضية طبقا لبرنامج السـنة الجيوفيزيائية الدولية الى معلومات قيمة

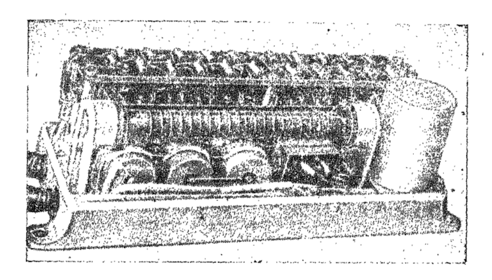
ستساعد على التقدم بمجالى التنبؤ وحسابات الاتصالات اللاسلكية ٠ وسيتمكن العلماء من التحقق من صحة الفرض القائل أن الطبقة السفلى من الايونوسفير (الطبقة هـ) والتى على ارتفاع ٧٠ ـ ٩٠ كيلو مترا تتكون نتيجة لتأثير خطوط الايدروجين الطيفية التى يشعها كروموسفير الشمس ، وان الطبقة د التى توجد على ارتفاع ٩٠ ـ ١٠٠ كيلومترا تتكون نتيجة للأشعة السينية المنبعثة من الهالة الشمسية ٠٠٠ الخ ٠

وهناك أيضا أجهزة خاصة فى المعمل الكونى وهى عدادات الدقائق المشحونة مهمتها دراسة الأشـعة الكونية فى الفراغ الخارجى مباشرة ٠ وهذا أمر على جانب كبير من الأهمية لأن الأشعة الكونية تجتاز مراحل معقدة من التغيرات أثناء اختراق جو الأرض مما يؤدى الى تغيرات كبيرة تعتمد على الارتفاع ٠ اذ تتفاعل الدقائق الكونية « الأولية » القادمة من مناطق نائية من الفضاء أو من الشمس مع نوى الذرات التى تؤلف جو الأرض مولدة بذلك عددا من الدقائق الجديدة ومستهلكة فى نفس الوقت الجانب الأكبر من طاقتها ٠ ومن هنا كانت أهمية دراسة الاشعاعات الكونية فى الفضاء الخارجى ٠

وجدير بالذكر أن المجـال المغنـاطيسى للأرض يحيطها بحاجز غير مرئى ، ويقيها حاجز الطاقة هذا أيضا من الدقائق الكونية ٠ وبسببه لا تستطيع الدقائق الكونية ذات الطاقة المنخفضة أن تصل الا الى المناطق القطبية ، أى الدائرة القطبية الشمالية والدائرة القطبية الجنوبية ، أما المناطق الاستوائية فلا تصل اليها الا الدقائق التى تزيد طاقتها على ١٤ر٠٠٠ مليون الكترون فلط (أى أعلى ٤٠٪ عما يستطيع أن يولده أقوى مسـارع سينكروفازوترونى فى العـالم وهو ذلك الموجود فى دوبنا) ٠

وتولد عدادات الدقائق المشحونة التى وضعت فى الأقمار طراز سبوتنيك نبضة كهربائية كلما مرت خلالها احدى الدقائق الكونية ، وتحصى دوائر ترانزستورية خاصة عدد النبضات وترسل اشارة كلما وصل العدد الى رقم معين (شكل ٤٤) ٠

وبعد أن يرسل الجهاز هذه الاشارة يبدأ فى العد من جديد ٠ وبقسمة عدد الدقائق التى عدها الجهاز على الزمن الذى استغرقه فى عدها ، يمكن معرفة متوسـط عدد الدقائق التى مرت خلاله فى الثانية ٠



(شكل ٤٤) : معدات دراسة الأشعة الكونية بالقمر الاصطناعى السوفيتى الثانى

وقد أظهرت القياسات علاقة واضحة بين عدد الدقائق الكونية وخط العرض الجغرافى . وستؤدى المقارنة بين هذه النتائج والقياسات الجيوفيزيائية الأخرى وكذلك نتائج دراسات الشمس الى بيانات أخرى قيمة .

وقد مكن المعمل الحيوى بالقمر سبوتنيك ـ ٢ من الحصول على بيانات عن الوظائف المختلفة لكائن حى يعيش فى ظروف الفضاء لأول مرة فى تاريخ البشرية . ومن الأمور الهامة فى هذا المجال ، ان الحل المفيد الكبير لهذا القمر الاصطناعى مكن من استخدام حيوان ثديى على درجة كبيرة من التطور مثل الكلب فى هذه التجربة . وقد تم تدريب الكلبة لايكا التى استخدمت فى هذه التجربة تدريجيا لتعتاد على المكوث لمدد طويلة فى كابينة صغيرة الحجم محكمة الاغلاق، وكذلك لتعتاد على التسارع والاهتزاز والملابس الخاصة واللاقطات المختلفة اللازمة لدراسة وظائفها الفسيولوجية .

وقد أمدت معدات القياس الاوتوماتيكية وأجهزة الارسال العلماء على الأرض ببيانات عن معدل نبض القلب وعن التنفس وضغط الدم والجهد البيولوجى للقلب ودرجة الحرارة المحيطة وضغط الهواء ... الخ .

وكان التحكم فى تركيب الغاز داخل القمرة ، وكذلك رطوبته يتم أوتوماتيكيا . وكذلك تغذية الكلبة ودورة الهواء الذى تعيش فيه . لأن تيارات الحمل الطبيعية للهواء تتوقف فى حالة انعدام الوزن .

وقد أظهرت البيانات التى تم الحصول عليها ، ان الكلبة تحملت جيــدا تعرضها الطويل لتأثير التسارع أثناء الارتفاع الى طبقات الجو العليا ، ثم التعرض لانعدام الوزن بعد ذلك عندما وصل القمر الى مداره ٠

ثم كانت هناك امكانيات أوسع للبحث العلمى مرة ثالثة ، وذلك عند اطلاق القمر السوفيتى الثالث ٠ ففى ١٥ مايو سنة ١٩٥٨ ، وضع القمر سبوتنيك ــ ٣ الذى كان يزن ١٣٢٧ كجم فى مداره ٠ وقد كان شكله مخروطيا تقريبا ارتفاعه ٥٧ر٣ مترا ، وقطره ٧٣ر١ مترا (بدون الهوائيات البارزة) ٠ وكان وزن الحمل المفيد الذى يتضمن المعدات العلمية ومصادر التغذية ٩٦٨ كجم ٠

وقد مكنت المعدات اللاسلكية التى وضعت فى هذا القمر من القيام بقياس التغير فى مداره بطريقة أدق ، وتولى جهاز التحكم ، الذى قام بمهمة التحكم فى جميع المعدات العلمية واختزان البيانات التى يتم الحصول عليها وارسالها الى الأرض أثناء مرور القمر على محطات خاصة داخل الاتحاد السوفيتى ، استقبال البيانات التى تم تجميعها ، وكان هذا كله يتم طبقا لبرنامج محدد يتولى هذا الجهاز تنفيذه ٠ وقد استخدمت جميع المعدات العلمية ومعدات القياس والمعدات اللاسلكية فى سبوتنيك ــ ٣ الترانزستور على نطاق واسع حتى أن عددها بلغ عدة آلاف ٠ وكانت تغذية هذه المعدات جميعها عن طريق مركمات خاصة من الفضة والخارصين وخلايا أكسيد الزئبق وبطاريات شمسية مصنوعة من أشباه الموصلات ٠ وقد وضعت البطاريات الشمسية المصنوعة من السيليكون (والتى بلغت كفايتها ٩ ــ ١١٪) بحيث يضاء دائما بأشعة الشمس ٠

وقد كان مدار القمر الاصطناعى السوفيتى الثالث على شكل قطع ناقص يبلغ ارتفاع الأوج فيه عن الأرض ١٨٨٠ كم ٠ وقد حسنت وسائل المتابعة حركته وتقنياتها تحسينا كبيرا ٠ وكانت البيانات التى تحصل عليها المحطات اللاسلكية ترسل لاسلكيا أيضا الى مركز لتنسيق الحسابات، حيث كانت تقدم أتوماتيكيا الى آلة حاسبة الكترونية ذات سرعة عالية كانت تقوم بحساب معاملات مدار سبوتنيك ــ ٣ ٠

وكما كان الحال فى القمرين السابقين ، اشتركت محطات جماعية وفردية للهواة فى رصد مداره ٠ وللأرصاد الدورية التى يقوم بها هواة اللاسلكى وبخاصة اذا كانت مسجلة على شريط مغناطيسى قيمة كبيرة عند العلماء ٠

وبالاضافة الى الحصول على بيانات جديدة عن الايونوسفير بنفس الطرق التى اتبعت فى القمرين الأول والثانى مكنا سبوتنيك ـ ٣ من الحصول على قياسات مباشرة لخواص الايونوسفير مثل تركيز الالكترونات والايونات ، وطيف كتل الايونات الموجبة ٠ ولهذا زود القمر بأجهزة خاصة منها جهاز تحليل طيفى كتلى يعمل بالتردد العالى ٠

كما حمل سبوتنيك الثالث أجهزة لقياس المجالات الكهربائية والمغناطيسية للأرض مما أدى الى الحصول على بيانات جيوفيزيائية هامة ٠

وقد تمكن العلماء السوفيت لأول مرة فى تاريخ العلم من القيام بتجارب الكشف عن فوتونات أشعة جاما فى الأشعة الكونية الأولية ٠ وبالاضافة الى هذا خرجت عدادات شرينكوف الى الفضاء الخارجى لأول مرة أيضا ٠ وتستطيع هذه العدادات أن ترسل قياسات الى الأرض لمدد طويلة ، كما تمكن من معرفة قيمة شحنة الدقائق التى تصطدم بها ، وبهذا تمدنا ببيانات أخرى عن تركيب الأشعة الكونية الأولية ، كما قام سبوتنيك الثالث بدراسات عن الاشعاع الجسيمى للشمس أكملت بقياسات للأشعة السينية ٠

وحتى ذلك الحين ، لم تكن القياسات التى تتم باستخدام الصواريخ عالية الارتفاع تعطى بيانات منظمة عن الضغط والكثافة فى طبقات الجو العليا ، وقد تمكن القمر الاصطناعى السوفيتى الثالث من الحصول على هذه البيانات ، كما زود أيضا بأجهزة لتسجيل الصدمات الناتجة عن الشهب الدقيقة بالاضافة الى عددها ٠

ويعتبر القمر الاصطناعى السوفيتى الثالث ـ وحجمه فى حجم سيارة ـ نصرا للعلم السوفيتى واثباتا آخر لميزات النظام الاشتراكى السوفيتى ٠

ويحتوى برنامج السنة الجيوفيزيائية الدولية على أبحاث مختلفة تتطلب استخدام المعامل الكونية ، لهذا لا شك فى أن الأقمار الاصطناعية ستزود فى المستقبل بأجهزة تتزايد مع الزمن تعقيدا وعمرا ٠

وستواجه أجهزة القياس فى المستقبل مطالب أقسى ، وكذلك أيضا أجهزة تخزين المعلومات ، وأجهزة الاعداد الأولى للقياسات ، وأجهزة الارسال للأرض ٠

وليس بعيدا ذلك اليوم الذى ستساعد فيه الأقمار الاصطناعية التى تدور بصفة دائمة حول الأرض على ارتفاعات هائلة على الحصول على ارسال تليفزيونى يغطى الأرض كلها (انظر الفصل الثالث) .

وعندما تنطلق أول سفينة فضاء لتدور حول القمر (١) ، ستنظر أجهزة التصوير التليفزيون الى الجانب الآخر الغامض من القمر الذى لم يره انسان حتى الآن . وسيتطلب هذا بالطبع أجهزة تستطيع أن «تتذكر» الصور الى أن يصبح القمر الاصطناعى على مرمى البصر من الأرض .

وحتى الرابع من أكتوبر سنة ١٩٥٧ ، كانت فكرة ارسال سفينة فضاء حول القمر مجرد خرافة علمية ، ولكن العلماء والمهندسين والعمال السوفييت تمكنوا من تحويله الى حقيقة ملموسة . ففى ٢ يناير سنة ١٩٥٩ ، أطلق الشعب السوفييتى أول صاروخ فضائى ليصل قرب القمر وهو يحمل علما عليه شارة الاتحاد السوفييتى وجملة « اتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفييتية ـ يناير ١٩٥٩ » .

وطبقا للبرنامج الموضوع ، نجح الصاروخ المتعدد المراحل فى اكتساب السرعة الكونية الثانية وقدرها ٢ر١١ كيلو مترا فى الثانية ودخل فى مساره الذى كان محددا له .

وكان وزن المرحلة الأخيرة من سفينة الفضاء ١٤٧٢ كيلو جراما (باستثناء الوقود) . وكان الوزن الكلى للمعدات العلمية ومعدات القياس ومصادر الطاقة والوعاء الحاوى لهذه المعدات ٣ر٣٦١ كيلو جراما . وغنى عن الذكر ان دفع الصاروخ كان هائلا وانه كان مزدحما بعدد كبير من الأجهزة الحديثة وكذلك بثلاث محطات ارسال لاسلكية .

فماذا كانت المشاكل التى على هذه المعدات ان تحلها ؟ .

منذ أجيال يعرف النـــاس ان للأرض مجالا مغناطيسيا ، وكذلك تمكن الفيزيائيون الفلكيون من الكشف عن المجال المغناطيسى للشمس وبعض النجوم بالمشاهدات البصرية ، ولكن طبيعة المجالات المغناطيسية للأجسام السماوية ليست واضحة حتى الآن .

ففى البداية افترض ان مجال الأرض المغناطيسى نتيجة للخامات المغنطة الموجودة فيها لا غير ، ثم اكتشف ان جزءا كبيرا من هذا المجال

---

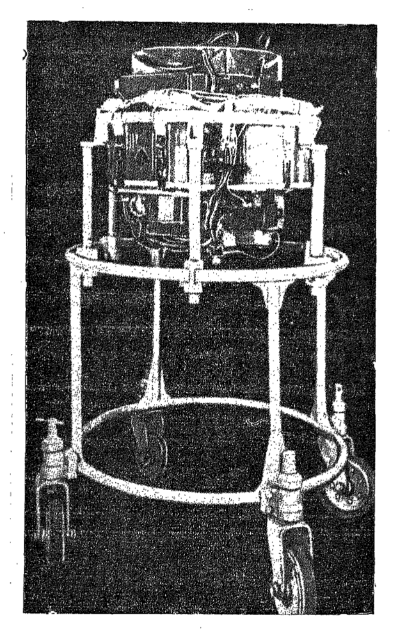
(١) يذكر القراء أن هذا قد تم فعلا منذ عدة سنين ـ المترجم

تصاحبه تيارات كهربائية فى المحيطات ، وتيارات من الدقائق المشحونة فى الطبقات العليا من جو الأرض · وقد ساعدت الأقمار الاصطناعية السوفيتية على اكتشاف ان كثافة الاشعاع الكونى تزيد الى حد كبير عند ارتفاع حوالى ٥٠٠ كيلو مترا عن سطح الأرض ، وتصل الى نهايتها العظمى عند ارتفاع يصل الى عدة آلاف من الكيلو مترات ، ثم تبدأ بعدها فى التناقص · ويحتجز المجال المغناطيسى للأرض هذه الدقائق الكونية كما تؤثر هى بدورها عليه ·

أما القمر فليست به محيطات ، وليس له غلاف جوى ، ولهذا لا تكون مشكلة مجاله المغناطيسى معقدة بسبب التيارات الكهربائية فى المحيطات والغلاف الجوى ، فبدراسته اذن تقربنا الى حل لغز المجالات المغناطيسية للأجسام السماوية ، وليست هناك طريقة فيزيائية فلكية يمكن بوساطتها الكشف عن هذا المجال ، فضلا عن قياسه · ولهذا فقد كان الواجب الرئيسى أمام الصاروخ الكونى هو حمل أجهزة قريبا من القمر يمكنها ارسال المعلومات عن مجاله المغناطيسى الى الأرض ·

كذلك تمكن الباحثون الذين يدرسون الأشعة الكونية من « الامساك » بها فى الآبار العميقة وفى البحار ، على سطح الأرض وعلى قمم الجبال ، كما حملت البالونات أجهزة قياس الأشعة الكونية وكذلك صواريخ الارتفاعات العالية والأقمار الاصطناعية · ولكن ليست هناك معلومات عن طبيعة الأشعة الكونية خارج المجال المغناطيسى للأرض · وبالطبع حمل الصاروخ الذى غادر الأرض ووصل الى منطقة فى الفضاء لا يكاد يكون للمجال المغناطيسى للأرض فيها أى وجود عملى ، أجهزة لقياس شدة الأشعة الكونية والتغير فيها ، وكذلك أجهزة الكشف عن وجود الفوتون فى الاشعاع الكونى ·

وتعتبر المعلومات الخاصة بتوزيع النوى الثقيلة فى الاشعاع الكونى ذات أهمية كبرى فى حل مشاكل نشأة الكون ، ولا تسمح الأبحاث التى تتم على الأرض ، أو حتى تلك التى تتم بالاستعانة بالأقمار الاصطناعية بمعرفة هذا التوزيع بأى درجة من الدقة ، وذلك نتيجة لفعل المجال المغناطيسى للأرض · وقد حمل هذا الصاروخ الأجهزة الى ما بعد حدود هذا المجال ، وبهذا ساعد على حل مشاكل تركيب الاشعاع الكونى فى الفراغ بين الكواكب ·



(شكل ٤٥) : اطار الأجهزة الخاص بالوعاء الموجود بالصاروخ ويتضمن مصادر الطاقة (موضوع على عربة) .

ومن الأبحاث ذات القيمة العظيمة تلك الخاصة بدراسة الغاز الكونى الموجود بين الكواكب والاشعاع الجسيمى للشمس غير المشوه نتيجة للمجال المغناطيسى للأرض ، اذ يمكن بهذا معرفة التركيب الأول لهذا الاشعاع الذى يسبب الشفق القطبى والعواصف المغناطيسية على الأرض .

وعندما مر الصاروخ قريبا من القمر ، قامت الأجهزة التى يحملها بقياس نشاطه الاشعاعى ٠

وكذلك قام الصاروخ بدوره فى الدراسات الخاصة بالدقائق الشهبية التى بدأتها الأقمار الاصطناعية ٠ ويمكننا الآن ان نكون فكرة أصح عن احتمال اتلاف الشهب لسفن الفضاء التى سيترك بها الانسان الأرض ويذهب لدراسة القمر دراسة تفصيلية ٠ وسيمكن هذا المهندسين من تصميم وسائل الوقاية الملائمة ٠

وقد قامت الأجهزة المركبة فى الصاروخ بقياس درجة الحرارة داخل الوعاء وعلى سطح الصاروخ ، وقد سجلت درجات الحرارة الآتية على سطح الصاروخ :

٣ يناير : ١٥ ـ ٢٠ درجة مئوية فوق الصفر

٤ يناير : ١٠ ـ ١٥ درجة مئوية فوق الصفر

كما كانت درجة الحرارة داخل الوعاء تتراوح بين ١٠ الى ٢٠ درجة مئوية فوق الصفر ٠ وقد كان ضبط درجة حرارة الصاروخ فى هذه الحدود يتم عن طريق الموازنة بين الحرارة المنبعثة من الأجهزة التى تعمل بداخله والحرارة التى يكتسبها من أشعة الشمس من جهة ، وتلك التى يفقدها خلال غلافه من جهة أخرى ٠ وستستخدم النتائج التى تم الحصول عليها فى تصميم سفن الفضاء القادمة ٠

وقد حمل أول صاروخ فضائى معدات خاصة أطلقت سحابة من الصوديوم فى تمام الساعة ٥٧ : ٣ يوم ٣ يناير وذلك طبقا للبرنامج الموضوع ، ولعدة دقائق جعل الاشعاع الشمسى أبخرة الصوديوم هذه تشع ضوءا خافتا يشبه الى حد ما وهج ذيل المذنب ٠ وقد صور الراصدون فى مرصد ألما آتا هذا « المذنب الاصطناعى » الذى يعتبر الأول من نوعه ، كما سجله كثير من الفلكيين فى عدة بلاد ٠ وسيساعد تحليل هذه المشاهدات على تصحيح معلوماتنا عن طبيعة الشهب ٠

وقد أرسلت جميع البيانات التى حصلت عليها أجهزة الصاروخ الى الأرض باللاسلكى ، وقد زود الصاروخ لهذا الغرض ـ وكذلك للمساعدة على تتبعه ـ بثلاثة أجهزة للارسال ، كان أحدها يرسل اشارات تلغرافية طولها ٨ر٠ ، ٦ر١ من الثانية على الترددين ١٩٫٩٩٧ و ١٩٫٩٩٥ ميجاسيكل/ثانية ٠ وكان الآخر مخصصا لارسال نتائج الدراسات العلمية ويرسل اشارات تلغرافية طولها متغير بين ٥ر٠ الى ٩ر٠ من الثانية على تردد قدره ١٩٫٩٩٣ ميجاسيكل ٠ أما جهاز الارسال الثالث فكان يحمل

على تردد قدره ١٨٣ر٦ ميجاسيكل وكان يستخدم فى ارسال المعلومات العلمية وفى اعطاء البيانات لقياس مسار الصاروخ ٠

ولم تقم الأجهزة اللاسلكية بحساب ومراقبة برنامج رحلة سفينة الفضاء الأولى هذه وضمان نجاح اطلاقها فحسب ، بل أعطت أيضا بيانات فى غاية الدقة عن طيران الصاروخ ٠ وكانت البيانات ترسل أوتوماتيكيا الى الآلات الحاسبة الالكترونية التى كانت تحدد بسرعة ودقة عناصر مسار الصاروخ وتتنبأ بمساره فى المستقبل ٠

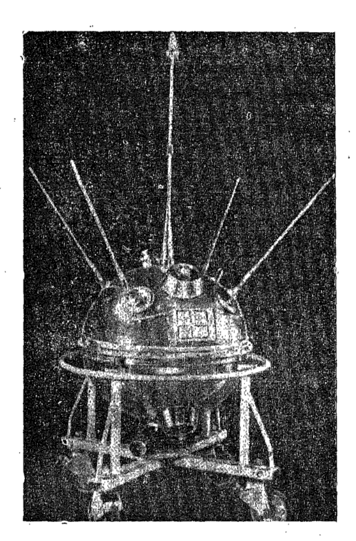
وقد بينت الأجهزة اللاسلكية انه بعد أن اندفع الصاروخ الى القمر بسرعة ابتدائية قدرها ٢ر١١ كيلو مترا فى الثانية ، استمر فى مساره الذى كان محددا له من قبل ، وتناقصت سرعته تدريجيا بفعل جذب الأرض ٠ وفى الساعة ٥٩ : ٥ من يوم ٤ يناير ، مر الصاروخ بجوار القمر على بعد ٧٥٠٠ كيلو متـرا من سطحه ٠ وفى نفس الوقت كان الصاروخ على مسافة ٣٧٠٠٠٠ كيلو مترا من مركز الأرض بينما كانت سرعته نصف القطرية ٤٥ر٢ كيلو مترا فى الثانية ، وقد قطع الصاروخ هذه المسافة فى ٣٤ ساعة ٠

وقد استمر الاتصال اللاسلكى بالصاروخ لمدة ٦٢ ساعة وصل بعدها الى مسافة ٥٩٧٠٠٠ كيلو مترا ٠ ولم تفقد المحطات اللاسلكية فى الاتحاد السوفيتى الاتصال بالصاروخ الا عندما اختفى وراء الأفق نتيجة لدوران الأرض ٠ وفى نفس الوقت ابتعد الصاروخ عن القمر واندفع فى مدار كوكبى حول الشمس كأحد توابعها ٠

وسيدور هذا الكوكب الاصطناعى فى مدار دائرى تقريبا دورته ١٥ شهرا ، وبعد حوالى خمس سنوات سيعود الى الاقتراب من الأرض الى مسافة ١٠ مليون كيلو مترا تقريبا ٠

وقريبا يكسب العالم مكاسب كثيرة من تحليل نتائج الدراسات التى قام بها الشعب السوفيتى بالقرب من القمر ، وحتى الآن لم تصل هناك بالطبع الا الأجهزة فقط ٠

وبعد تجارب الطيران الأولى هذه ، لا شك فى أن سفن الفضاء السوفيتية ستصل الى المريخ والزهرة ، اذ ليس هناك ما يمنع الانسان من الوصول الى الأجرام السماوية ومن الاقامة فيها أيضا ٠



(شكل ٤٦) : الوعاء الذى يحتوى على المعدات العلمية ومعدات القياس بالصاروخ (مركب على عربة) .

ويعتبر التحكم عن بعد باللاسلكى والميكنة والاتصالات اللاسلكية من الضرورات المطلقة فى الرحلات الفضائية فى المستقبل ، وان العلم السوفيتى والهندسة لمزودان بكل ما يلزم لحل أعقد المشاكل التى تواجه الانسان وأكثرها ارهاقا .

وبهذا نكون قد تكلمنا عن الانجازات الرئيسية التى قامت بها هندسة اللاسلكى وحالتها الحاضرة .

وقد كان الاتحاد السوفيتى مسقط رأس اللاسلكى ، كما ان الشعب السوفيتى فخور بمواطنه الكبير مؤسس الراديو أ . س . بوبوف .

ونتيجة لعمل الكثيرين من العلماء والمهندسين السوفيت ، تحتل بلادهم المركز القيادى فى تطوير هندسة اللاسلكى النظرية والفيزياء اللاسلكية ، وكذلك فى الاذاعة والاتصالات اللاسلكيين • كما شق العلماء السوفيت طرقا جديدة فى ميادين الرادار والملاحة اللاسلكية ، وفى استخدام اللاسلكى فى الصناعة ، وفى مجالات أخرى • ولا ينقصهم شىء ليتقدموا الى الأمام لضمان مستوى عال من التطور للهندسة اللاسلكية والالكترونيات فى الاتحاد السوفيتى • وهناك الكثير من الاكتشافات فى هذه المجالات مازالت فى الطريق •

تم الكتاب بحمد الله

فهـــــرس

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٧١٩/١٩٨٦
ISBN ٩٧٧ ـ ٠١ ـ ٠٨٦٨ ـ ٥



مطابع الهيئة المصر

١٥٠ قرشــا